

**VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**  
**Fakulta strojní**  
**Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení**

**Optimalizace hydraulického obvodu za účelem snížení  
spotřeby vody na myčce lahví**

**Optimization of the Hydraulic Circuit in Order To Reduce  
Water Consumption through Bottle Washing**

**Student:**

**Andrzej Zemene**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**doc. Ing. Sylva Drábková, Ph.D.**

Ostrava 2017

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Andrzej Zemene**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2302T043 Hydraulika a pneumatika  
Téma: **Optimalizace hydraulického obvodu za účelem snížení spotřeby vody na myčce lahví**  
**Optimization of the Hydraulic Circuit in Order to Reduce Water Consumption through Bottle Washing**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte technický popis myčky lahví a procesu mytí v Pivovaru Radegast.
2. Zpracujte funkční schéma hydraulického obvodu, popis hydraulických prvků, jejich funkce a seznam měřených veličin.
3. Posuďte přívodní řad k tryskám s ohledem na vznik hydraulického rázu.
4. Vyhodnoťte průtok mycí linkou a vznikající hydraulické ztráty v jednotlivých větvích obvodu.
5. Posuďte možnost snížení spotřeby oplachové vody optimalizací hydraulického obvodu a práce čerpadel v jednotlivých sekcích myčky.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- MELICHAR, J., BLÁHA, J. Problematika soudobé čerpací techniky. - Vyd. 1. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2007. 265 s. ISBN 978-80-01-03719-5 (brož.).
- BLÁHA, J., BRADA, K. Příručka čerpací techniky. Praha: ČVUT, 1997. 289 s. ISBN 80-01-01626-9.
- BLÁHA, J.; BRADA, K. Hydraulické stroje. 1st edition Praha: SNTL, 1992. 747 s. ISBN 80-03-00665-1.
- BLEJCHAŘ, T., DRÁBKOVÁ, S.: Čerpací technika a potrubí, návody do cvičení. VŠB-TUO, Ostrava, 2010. 76 s. ISBN 978-80-248-2205-1.
- DRÁBKOVÁ, S. a kol.: Mechanika tekutin, VŠB-TU Ostrava, 2007, 260 s.
- KOZUBKOVÁ, M.: Simulace a modelování hydraulických systémů, VŠB-TU Ostrava, 2009, 128 s.  
Dostupné z <<http://www.338.vsb.cz/studium/skripta/>>.
- KOZUBKOVÁ, M.: Dynamika hydraulických systémů, VŠB-TU Ostrava, 2005, 100 s.  
Dostupné z <<http://www.338.vsb.cz/studium/skripta/>>.
- PAVLOK, B.: Potrubní systémy a armatury – část 1, VŠB-TU Ostrava, 2011, 81 s.  
Dostupné z <<http://www.338.vsb.cz/studium/skripta/>>.
- RAUTOVÁ, J.: Potrubní systémy a armatury – část 3, VŠB-TU Ostrava, 2011, 107 s.  
Dostupné z <<http://www.338.vsb.cz/studium/skripta/>>.
- BOLDIŠ, P.: Bibliografické citace podle dokumentů ČSN ISO 690 a ČSN ISO 690-2, část 2 – Modely a příklady citací u jednotlivých typů dokumentů. Dostupné z <<http://www.boldis.cz/citace/citace.html>>.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Sylva Drábková, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

*Hružík*

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík  
vedoucí katedry

*Hlavatý*

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15. 5. 2017

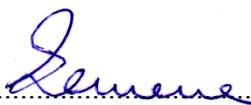


.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было с́jednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было с́jednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 15. 5. 2017

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Andrzej Zemene

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Vendryně 1156, 73994

## **Poděkování**

*„ Děkuji vedoucí diplomové práce doc. Ing. Sylvě Drábkové, Ph.D. za cenné připomínky, odborné rady, ochotu a vstřícnost při konzultacích a vypracovávání této diplomové práce. Rovněž bych chtěl poděkovat celému kolektivu v pivovaru Radegast za poskytnutí informací, hlavně panu inž. Grzegorzowi Komorze za podporu a spolupráci.“*

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ZEMENE, A. *Optimalizace hydraulického obvodu za účelem snížení spotřeby vody na myčce lahví: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2017, 77 s. Vedoucí práce: Drábková S.

Diplomová práce pojednává především o snižování spotřeby pitné vody na myčce lahví optimalizací hydraulického obvodu. V první části je popsán princip fungování myčky a celého mycího procesu. V praktické části je identifikace a fotodokumentace všech stávajících prvků na obvodu pro pitnou řadovou vodu. Další část se zabývá simulací hydraulického rázu při uzavření všech finálních trysek a jeho vyhodnocením. Hydraulický ráz je redukován nově zvoleným redukčním ventilem, který rovněž pozitivně ovlivní spotřebu vody. Závěrečná část se zabývá návrhem čerpadla pro přečerpání odpadní vody z myčky lahví na myčku beden.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

ZEMENE, A. *Optimization of the Hydraulic Circuit in Order to Reduce Water Consumption through Bottle Washing: master thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2017, 77 p. Thesis head: Drábková, S.

The thesis deals mainly with reduction of water consumption on bottle washing machine by optimization of hydraulic circuit. In the first part is described how washing machine works and basic principles of washing process. In the practical part of thesis are identified and photo-documented components on the circuit with drinking clean water. Next part is about simulating hydraulic shock during closing all final spraying nozzles. This hydraulic shock is reduced by choosing new reducing valve. New reducing valve is also positively affecting drinking water consumption. Final part deals with proposal of a new pump for pumping the wastewater from bottle washing machine to crates washing machine.

## Obsah

Seznam použitých značek a symbolů .....	10
1 Cíle diplomové práce .....	11
2 Úvod do problematiky mycí linky v Pivovaru Radegast .....	11
2.1 Stroje před myčkou láhví (upstream).....	12
2.2 Stroje za myčkou láhví (downstream) .....	12
2.3 Výkonové parametry na myčce láhví .....	13
2.3.1 Spotřeba vody .....	14
2.3.2 Další výkonové parametry v procesu mytí láhví .....	15
2.3.3 Metodika výpočtů výkonových parametrů .....	15
3 Technický popis myčky láhví .....	16
3.1 Obecné kroky mycího procesu .....	16
3.1.1 Vstup láhví do láhvového koše.....	17
3.1.2 První ostříky tryskami .....	18
3.1.3 Předmáčení .....	19
3.1.4 Hlavní mycí sekce .....	19
3.1.5 Příprava láhví pro výstup z myčky, finální ostřík .....	20
3.1.6 Výstup láhví.....	21
3.2 Typy myček a technologické prvky .....	22
3.2.1 Myčka láhví s jedním koncem (single-end) .....	22
3.2.2 Myčka láhví s dvojitým koncem (double-end).....	23
3.2.3 Trysky .....	24
3.2.4 Odstranění etiket.....	26
3.2.5 Odsávání vodíku .....	26
3.2.6 Koš na láhve .....	27
3.2.7 Řetěz .....	28
3.3 Chemické a fyzikální proměnné v procesu mytí láhví .....	29
3.3.1 Teplota .....	29
3.3.2 Louh (hydroxid sodný- NaOH) .....	30
3.3.3 Přísady .....	30
3.3.4 Kvalita vody .....	31
3.3.5 Odstraňování kamene (odkamenování) .....	32
3.4 Standardní postup ve snižování nákladů.....	32



3.4.1	Seřízení trysek .....	32
3.4.2	Ztráty vody z důvodu ucpaných trysek .....	32
3.4.3	Měření spotřeby vody .....	33
3.4.4	Ovládání přísunu čisté vody .....	33
3.4.5	Řízení a optimalizace čerpadel .....	33
4	Posouzení přívodního řádu k tryskám s ohledem na hydraulický ráz.....	34
4.1	Popis obvodu řadové vody .....	34
4.2	Specifikace jednotlivých prvků na obvodu řadové vody.....	36
4.2.1	Hlavní vodoměr .....	37
4.2.2	Hlavní uzavírací ventil .....	38
4.2.3	Uzavírací ventily pro dopouštění van a před finálními tryskami .....	39
4.2.4	Analogový tlakoměr .....	40
4.2.5	Vodoměr před finálními tryskami .....	41
4.2.6	Uzavírací ventil a vodoměr na dopouštění vany .....	41
4.2.7	Redukční ventil před finálními tryskami .....	42
4.3	Analýza otáčení finálních trysek.....	43
4.4	Optimalizace tlaku na myčce .....	44
4.5	Analýza spotřeby vody .....	45
4.6	Simulace obvodu řadové vody v programu Matlab Simulink .....	48
4.6.1	Sestavení obvodu v programu Matlab Simulink .....	48
4.6.2	Simulace s novým redukčním ventilem .....	62
5	Přečerpávání vody na myčku beden.....	63
5.1	Současný stav.....	64
5.2	Návrh čerpadla.....	66
5.2.1	Analýza čerpacího systému .....	68
6	Závěr .....	74
7	Použité literární zdroje .....	76
8	Seznam příloh.....	77

## Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
DN	Jmenovitá světlost potrubí	[mm]
pH	Vyjádření kyselosti	[1]
$K_{vs}$	Výtokový součinitel	[m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> ]
$\pi$	Konstanta pí	[1]
$\zeta$	Ztrátový součinitel dzéta	[1]
$D$	Průměr	[m]
$\Delta p$	Tlaková ztráta prvku	[Pa]
$\rho$	Hustota	[kg.m <sup>3</sup> ]
$v$	Rychlost proudění kapaliny	[m.s <sup>-1</sup> ]
$Q_v$	Objemový průtok	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$S$	Průtočná plocha potrubí	[m <sup>2</sup> ]
$n_t$	Počet trysek na jedné řadě	[1]
$d$	Průměr	[m]
$\mu$	výtokový součinitel	[1]
$S_c$	Průtočná plocha prvku	[m <sup>2</sup> ]
$Y_c$	Celková měrná energie	[J.kg <sup>-1</sup> ]
$Y_p$	Měrná energie potrubí	[J.kg <sup>-1</sup> ]
$Y_z$	Měrná ztrátová energie	[J.kg <sup>-1</sup> ]
$Y_{st}$	Měrná statická energie	[J.kg <sup>-1</sup> ]
$Y_{zv1}$	Měrná ztrátová energie potrubí DN 40	[J.kg <sup>-1</sup> ]
$Y_{zv2}$	Měrná ztrátová energie potrubí DN 32	[J.kg <sup>-1</sup> ]
$H$	Potřebná dopravní výška čerpadla	[m]
$g$	Tíhové zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
$h$	Dopravní výška	[m]
$k$	Drsnost potrubí	[mm]
$p_{vn}$	Tlak ve výtlačné nádrži	[Pa]
$p_{sn}$	Tlak v sací nádrži	[Pa]
$h_s$	Sací výška	[m]
$h_v$	Výtlačná výška	[m]
$h_{zs}$	Ztrátová sací výška	[m]
$h_{zv}$	Ztrátová výtlačná výška	[m]
$\lambda$	Ztrátový součinitel lambda	[1]
$l$	Délka potrubí	[m]
$Re$	Reynoldsovo číslo	[1]
$\nu$	Kinematická viskozita	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
Port A	Vstup do prvku v programu Matlab	
Port B	Výstup z prvku v programu Matlab	
Port Q	Výstup signálu z prvku v programu Matlab	

## **1 Cíle diplomové práce**

Hlavním cílem diplomové práce je snížení spotřeby pitné vody z řádu na hydraulickém obvodu myčky láhví. Jelikož v dnešní době se s ohledem na životní prostředí snažíme omezit spotřebu pitné vody na minimum, je toto téma velmi aktuální. Pro snížení spotřeby pitné vody na myčce je prvním krokem důkladná analýza aktuálního obvodu a zjištění jeho současných prvků a nedostatků. Optimalizaci je možno dosáhnout jak změnou prvků, tak nalezením zbytečných úniků vody. Dimenzování čerpadel má rovněž pozitivní vliv na spotřebu vody. Největší spotřeba řadové vody na myčce láhví je na tryskách pro finální ostřík.

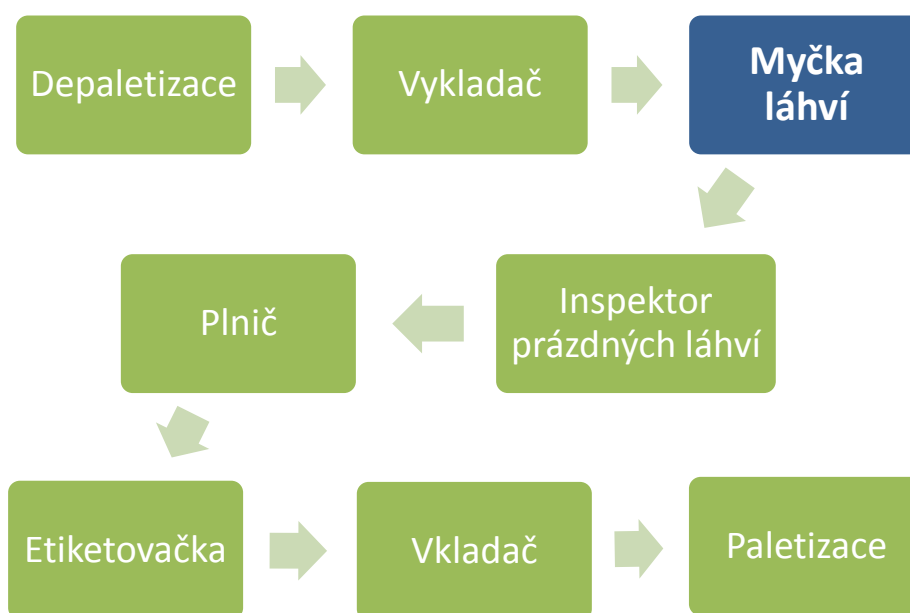
Dalším cílem je analýza hydraulického rázu, který může vznikat právě na tryskách pro finální ostřík, který má na tyto trysky negativní. Je odpozorováno, že svařenec, ve kterém proudí voda a na který jsou namontované trysky, praská a v důsledku toho je nutná oprava nebo výměna. Simulací v programu Matlab Simulink je možné blíže poznat, jaký je průběh tlaku v obvodu a určit, jak velký je nárůst tlaku při uzavření trysek a stanovit řešení pro redukci tlakových pulzací.

Dalším krokem je vyšetření obvodu pro přečerpání odpadní vody z myčky láhví na myčku beden (přepravek). Protože bedny nepodléhají tak přísným hygienickým kritériím jako láhve, používá se pro jejich mytí odpadní voda z myčky láhví. Cílem je zajistit, aby myčka beden pracovala hlavně s vodou z myčky láhví a minimálně připouštěla pitnou řadovou vodu. Poznáním nedostatků současného systému pro přečerpání a návrhem možných zlepšení je možné ušetřit náklady na provoz myčky beden.

## **2 Úvod do problematiky mycí linky v Pivovaru Radegast**

V tomto bodě se zabývám procesem mytí láhví. Aby nic nebylo vytrženo z kontextu, a čtenář byl obeznámen s problematikou stáčecí linky, zjednodušeně jsem popsal práci jednotlivých strojů na celé stáčecí lince. Je to velice široké téma a zabývat se jím podrobně v této práci nemá smysl. Rovněž je popsán hydraulický obvod na myčce láhví. Jednotlivým prvkům obvodu se věnuji jak z funkčního tak z konstrukčního hlediska.

Teoretická část se skládá hlavně z poznatků a zkušeností získaných na letní stáži v Plzeňském Prazdroji, kde jsem působil právě v pivovaru Radegast.



Obrázek 2-1 Schéma stáčecí linky [8]

## 2.1 Stroje před myčkou láhví (upstream)

Před myčkou jsou stroje, které se nacházejí v tak zvané suché části (dry end). Jelikož se pracuje se špinavými láhvemi, nároky na hygienu zde nejsou až tak přísné. Láhve jsou nejdříve sundány z palet depaletizérem. Na paletách jsou v bednách (přepravkách) a úkolem depaletizéru je vložit tyto přepravky na dopravní pás (buffer). Následně jsou přepravky dopraveny do vykladače. Vykladač vyloží láhve z přepravek a vloží je na dopravní pás, který již vede do myčky. Špinavé přepravky jsou myty v myčce beden. Proces mytí láhví bude popsán detailně v samostatné kapitole.

## 2.2 Stroje za myčkou láhví (downstream)

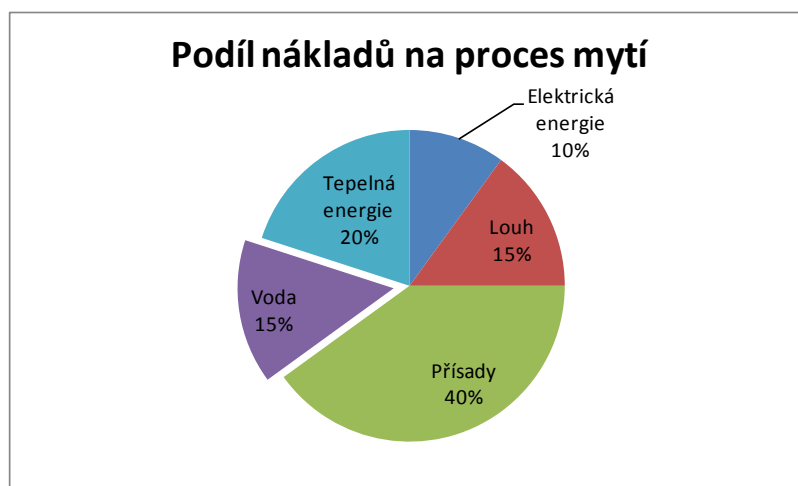
Z myčky jsou láhve dopravovány na pásech do mokré části (wet end). Mokrá část je od suché oddělena stěnou a platí zde velmi přísné hygienické normy. Láhve již musí být perfektně očištěné od všech nečistot a připravené na plnění. Aby bylo dosaženo stoprocentní záruky, že lahve jsou zbaveny všech mikronečistot a nejsou nějak

poškozené, je před samotným plněním stroj, neboli inspektor (EBI- Empty Bottle inspektor) určený pro finální kontrolu nezávadnosti. EBI má spoustu snímačů a kamer, který zachycuje všechny mikroskopické nedostatky na láhvích. Jestliže nějaká není v pořádku, tento stroj ji vyřadí. Po tomto kroku jsou všechny láhve zkontrolovány a připravené na plnění v plniči. V samotném plniči platí nejpřísnější hygienické podmínky v celém pivovaru. Nesmí zde dojít do žádné kontaminace bakteriemi. Láhve jsou hned po naplnění uzavřené korunkou (víčkem). Následně jsou dopravovány zpět do suché části. První stroj je etiketovačka, která lepí požadované etikety. Pak jsou láhve dopraveny do vkladače, který funguje na opačném principu jako vykladač. Vloží láhve do umytých přepravek, které jsou dále dopravovány na palety. Tam je ukládá paletizér. Aby byla zabezpečena paleta naložená plnými přepravkami, jsou jednotlivé palety ovinuté ve fólii.

Na celý proces na lince dohlížejí vyškolení operátoři. Jejich úkol není pouze kontrolovat kvalitu jednotlivých kroků, ale taky odstraňování poruch na strojích.

## **2.3 Výkonové parametry na myčce láhví**

Mytí lahví je v potravinářském (nápojovém) průmyslu velice důležité téma. Výrobci nápojů z vratných láhví musí zajistit jejich dokonalou čistotu (chemickou i mechanickou). Cílem je dosáhnout těchto standardů při udržení nejnižších možných nákladů na mytí. Oba tyto požadavky jsou logicky v rozporu. S čistotou se nic měnit nesmí- láhve musí být naprosto nezávadné. Zdokonalovat můžeme ale hydraulický obvod na myčce láhví, proto se hledají drobnosti, které můžou jakkoliv snížit spotřebu vody a chemikálií. Musí se brát ale ohled na to, že malá změna jakéhokoliv původního nastavení bude mít vliv na další aspekty. Hlavní náklady na celkovou cenu procesu mytí zobrazuje Obrázek 2-2.



Obrázek 2-2 Podíl na konečné ceně [1]

Je patrné, že voda tvoří 15% podíl v konečné ceně na hektolitr piva. Od konečné spotřeby vody se odvíjí celková spotřeba dalších kategorií (hydroxid sodný, teplo atd.)

### 2.3.1 Spotřeba vody

Voda tvoří základní médium pro mycí proces, ředění hydroxidu sodného (dále louhu), finální ostřiky a jiné hlavní mycí úkony. Nejvíce čisté řadové vody se spotřebuje na finálních ostřicích.

Finální ostřiky se nacházejí na konci celého mycího procesu. Jelikož v procesu mytí se používají chemikálie, je třeba je opláchnout. Další funkcí finálních stříků je ochlazování láhve před plněním. V louhové lázni se teplota pohybuje kolem 78°C a při výstupu láhve z myčky je optimální teplota láhve 35°C. Teplota vody finálního ostřiku je kolem 10°C. Zde není vhodné ochlazovat láhev přímo studenou vodou. Velké teplotní rozdíly zkracují životnost skleněných láhví a zmenšují jejich kvalitu. Při plnění jsou láhve vystavovány podtlaku z důvodu odstranění vzduchu. Nekvalitní láhve pak praskají a způsobují další ztráty. Teplotě se budu více věnovat v dalších kapitolách.

Voda v dalších částech mycího procesu se již může přečerpávat i z jiných částí stáček linky (například voda z oplachů plniče). Z finálního ostřiku voda stéká do nádrže, odkud přepadem stéká do dalších nádrží. Pak je čerpadly dopravena na požadované místo. Používá se pak třeba na chlazení nebo ohřívání láhví.

### 2.3.2 Další výkonové parametry v procesu mytí láhví

- **Tepelná energie**- Větší ohřátí vody v myčce může celkově zvýšit rychlost čistícího procesu.
- **Louh, NaOH** (hydroxid sodný) - V porovnání ceny a kvality je louh brán jako ekonomicky nejvýhodnější čistící prostředek. V Pivovaru Radegast se pracuje s 2% roztokem louhu[14]
- **Přísady**- Používají se například pro zlepšování žíravého efektu louhu, pro redukci opotřebení na jednotlivých komponentech ostříků, pro nastavení potřebné tvrdosti vody, nebo pro ovlivnění pěnivosti vody v myčce.
- **Spotřeba elektrické energie**-Elektřina není přímo používána pro mycí proces. Je však nezbytná pro fungování všech komponentů myčky. Elektrickou energií jsou poháněny čerpadla s elektromotory, pohony dopravníků láhví v myčce, senzory a snímače atd.

### 2.3.3 Metodika výpočtů výkonových parametrů

Celková spotřeba vody	hl*hl <sup>-1</sup>	Celková spotřeba vody na myčce láhví na množství stočeného piva v hektolitrech na stáčecí lince.
Spotřeba čisté řádové vody pro finální ostřík	ml*láhev <sup>-1</sup>	Množství čisté řádové vody použité pro finální ostříky na počet láhví, které jsou registrované inspektorem prázdných láhví EBI (za myčkou). Spotřeba vody se odečte z vodoměru před finálními ostříky.
Tepelná energie	MJ*hl <sup>-1</sup>	Celková spotřeba tepelné energie na myčce láhví na množství zabaleného produktu v hl na stáčecí lince.
Elektrická energie	kWh*hl <sup>-1</sup>	Celková spotřeba elektrické energie na myčce láhví na množství zabaleného produktu v hektolitrech na stáčecí lince.
Louh	kg*hl <sup>-1</sup>	Kilogram 100% louhu na konečnou spotřebu zabaleného produktu v hektolitrech
Použité přísady	g*hl <sup>-1</sup>	Množství použitých přísad v gramech na množství zabaleného produktu v hl.
Efektivita mycího procesu	%	Počet láhví, které jsou dopraveny do plniče na počet láhví, které byly umyty (Data jsou k zobrazení na inspektoru prázdných láhví EBI). Láhve, které inspektor prázdných láhví EBI vyřadí, jsou buď poškozené, nebo špatně umyté
Mikrobiologické testy	%	Počet láhví, které neprošly mikrobiologickým testem na počet kontrolovaných láhví
Test methylenovou modří	%	Počet láhví, které neprošly testem methylenovou modří na počet kontrolovaných láhví

Tabulka 2-1 Metodika výpočtů jednotlivých efektivit [1]

### **3 Technický popis myčky láhví**

Na začátku je uvedeno, že myčka vratných láhví musí zajistit absolutní čistotu láhví a připravit je na plnicí proces. Láhev se musí zbavit všech nečistot (stébla trávy, zbytky z cigaret, fólii, etikety, prach, oleje, benzín, patogeny a mikrobiologické organismy). Přitom nesmí být láhev poškozena a povrch poškrábán.

Na láhvích se objevují i nečistoty, které nejde odstranit mycím procesem. Jejich odstranění by bylo velice technicky náročné a neekonomické. Tyto láhve jsou za myčkou vyřazeny inspektorem prázdných láhví EBI (empty bottle inspector).

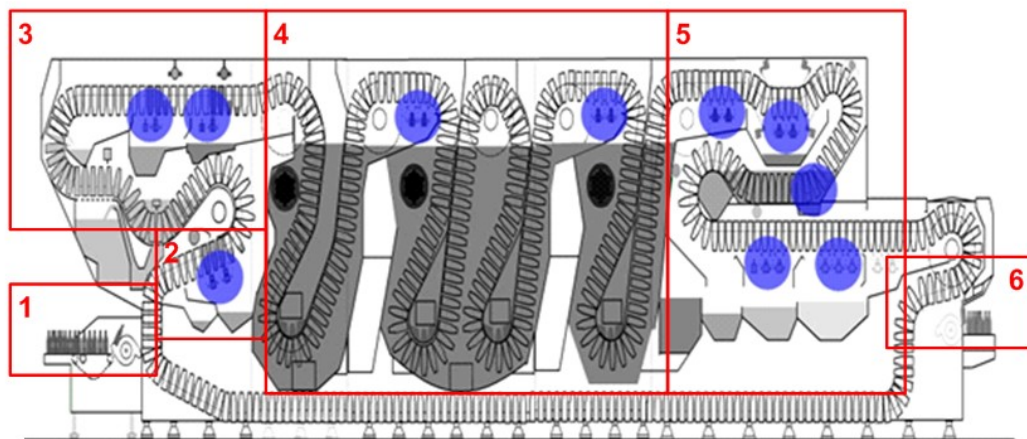
#### **3.1 Obecné kroky mycího procesu**

Tato kapitola se zabývá mycím procesem. Jsou popsány na sebe navazující, kroky a jejich význam v mycím procesu.

Proces mytí láhví je komplikovaný. Pro vysokou efektivitu se používá nejenom voda ale i chemikálie a teplo. Tento proces lze generálně popsat šesti hlavními kroky (Obrázek 3-1). Na obrázku jsou znázorněny jednotlivé sekce v myčce. Modře jsou pak zvýrazněny trysky.

1. Vstup láhví
2. První ostřík tryskami
3. Předmáčení
4. Hlavní mycí proces
5. Příprava na výstup, finální stříky
6. Výstup láhví





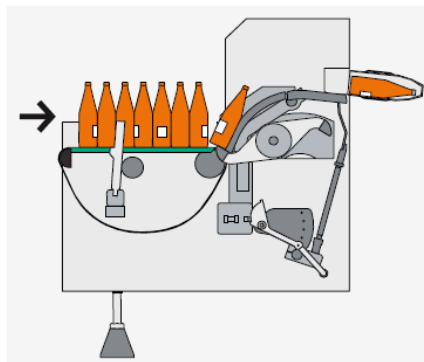
Obrázek 3-1 Schéma mycího procesu myčky láhví [1]

### 3.1.1 Vstup láhví do láhiového koše

Láhve jsou na dopravním pásu (Obrázek 3-2) rozloženy do jednotlivých řad. Pak jsou vloženy na vstup do myčky. Nabírací mechanismus (Obrázek 3-3) je zvedne a překlápí láhve dnem vzhůru. V koši jsou pak láhve celou dobu mycího procesu.



Obrázek 3-2 Prázdný dopravní pás na vstupu do myčky v pivovaru Radegast [8]

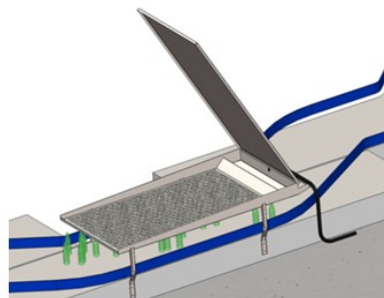


Obrázek 3-3 Schéma vstupu láhví do myčky - vložení do koše [2]

Jestliže vkládací mechanismus nepracuje správně, tak láhve nejsou vloženy do všech košů, nebo můžou praskat. To může způsobovat snížení nejenom efektivity myčky, ale celé plnicí linky z důvodu prostojů. Zastaví-li se myčka, za nějakou dobu se naplní dopravní pásy (buffery) před myčkou a tím pádem se zastavují postupně stroje před myčkou. Analogicky, když nepracuje myčka, nevydává umyté láhve, a proto se za nějakou dobu vyprázdní dopravní pásy (buffery) za myčkou a zastaví se plnič. Je nezbytné, aby vstup do myčky pracoval správně.

### 3.1.2 První ostříky tryskami

Zde je nejdůležitější láhve zbavit hrubých nečistot a cizích těles. Tyto nečistoty jsou odstraněny tryskami. V tomto kroku je neekonomické a neekologické provádět ostřík čistou vodou, proto voda pro první trysky je brána z předmáčecího kroku. Jelikož jde o první omývání láhví, hromadí se zde hodně nečistot. Je důležité pravidelné čištění odvodů vody. Voda z prvního ostříku jde přímo do odpadu. Eventuálně je možné ji použít na ostřík láhví na dopravníku ještě před vstupem do myčky (viz Obrázek 3-4).



Obrázek 3-4 Systém ostříku láhví před vstupem do myčky (toto řešení není v Pivovaru Radegast) [1]

Tento krok poslouží pro předebrání láhví a tím sníží energii (náklady) potřebné na ohřev láhví v myčce. Je nutné ale zvážit následující možné problémy:

- Jelikož voda je použitá, má v sobě hodně nečistot a ty můžou zvýšit opotřebení dopravníků. Jde tomu předejít použitím filtrů.
- Ještě větší kontaminace dopravníku před myčkou
- Podlahy budou špinavé a proto více kluzké. To, s ohledem na bezpečnost pracovníků, je třeba zvážit nejvíce.

### 3.1.3 Předmáčení

Láhve se předmáčejí z tří hlavních důvodů. Je eliminován velký teplotní šok. Tím se zvyšuje jejich životnost. Následně etikety a špína se po předmáčení snadněji odstraňují. Jako poslední důležitý důvod pro předmáčení je rekuperace tepelné energie z chladicí vody finálních stříků (Voda z finálních stříků slouží částečně pro ochlazování láhví. Tím přebírá tepelnou energii od zahřátých láhví a ohřívá se. Následně je přečerpána čerpadlem do části pro předmáčení.)

Sektor pro předmáčení se skládá jak z vany naplněné teplou vodou, rotačních a statických trysek (viz kapitola 3.2.3 Trysky).

### 3.1.4 Hlavní mycí sekce

Hlavní mycí sekce se skládá z velkých louhových van (od 1 do 4 van na myčku) [1]. Firma Krones nabízí zakázkovou výrobu více typů myček, podle potřeb zákazníka. Láhve jsou v těchto vanách různě vedeny tak, aby se naplnily i vyprázdnily několikrát za jeden cyklus mytí. Teplota louhu ve vaně se pohybuje okolo 78°C. Součástí hlavní mycí sekce jsou trysky jak rotační, tak statické. Klíčovým úkolem je nejenom čištění láhve ale i zbavování etiket. Hlavní faktory mající vliv v této sekci jsou

- **Čas máčení v louhu-** tento parametr je rozdílný pro různé konstrukce myček. Záleží na délce máčecí zóny. Můžeme ho regulovat zrychlováním nebo zpomalováním běhu celé myčky. Toto řešení ale není optimální,

bereme-li v potaz efektivitu celé plnicí linky. Zpomalení jednoho stroje má vliv na běh všech ostatních strojů a to má za následek obrovské finanční ztráty.

- **Čištění trysek-** trysky se nacházejí mezi louhovými vanami. Není možné zachytit všechny uvolněné etikety a vyhrnout do lisu, z toho důvodu se některé můžou dostat do trysky a tím jí ucpat. Pravidelné čištění trysek je velmi důležité pro zajištění maximální kvality mytí.
- **Louh-** kvalita samotného louhu a jeho teplota louhové vany mají taky velká vliv na celkový průběh čištění a jeho efektivitu.

### 3.1.5 Příprava láhví pro výstup z myčky, finální ostřík

Louh je velice efektivní detergent, ale je to v první řadě žíravina, která je nebezpečná pro člověka[3]. Kontakt kůže s pouze 2% louhem způsobuje podráždění. Z toho důvodu, po hlavním louhovém procesu mytí, je nezbytné láhve opláchnout, aby byly chemicky nezávadné a nepředstavovaly nebezpečí pro konzumenty piva. Další hlavní úkol finálního ostříku je ochlazení láhve na požadovanou teplotu (okolo 35°C). Spotřeba vody pro ochlazování je obecně větší než pro opláchnutí z louhu [1]. Na výslednou spotřebu vody pro ochlazení láhve bude mít vliv požadovaná výstupní teplota, teplota louhové vany, teplota čisté vody z řádu a hmotnost láhve.

- **Požadovaná výstupní teplota** láhve je velice důležitá pro následný proces plnění piva a praskání láhví v plniči. Jestliže je teplota láhve vysoká, může dojít k prasknutí láhve vlivem termického šoku. Teplota láhve klesá rovněž vlivem transportu do plniče. V mokré části, kde se nachází plnič, je teplota nízká (okolo 13°C), takže láhev je rovněž ochlazována.
- **Teplota louhové vany** ovlivňuje maximální teplotu láhve. Čím menší teplota louhové vany bude, tím méně vody bude potřeba na ochlazení. Je zde zase problém s čistícím účinkem, kde vysoká teplota pozitivně ovlivňuje čištění láhví. Je nezbytné zajistit minimální možnou teplotu, aby zůstala dodržena kvalita čištění.
- **Teplota čisté řadové vody** musí taky být stanovena na nejmenší možnou (ale nesmí docházet k termickému šoku na láhvích). Není ale ekonomicky

výhodné vodu uměle ochlazovat, proto se pracuje s teplotou, s jakou voda vstupuje do myčky.

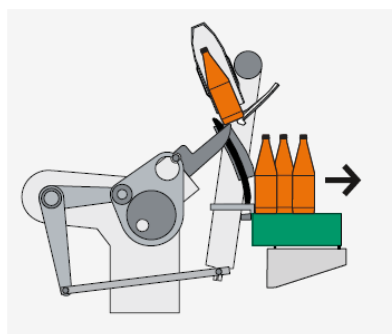
- **Velikost láhví**, nebo lépe řečeno jejich hmotnost, také výrazně ovlivňuje rychlost ochlazování. Čím více skla potřebujeme ochladit, tím více energie sklo musí odevzdat vodě. Musí se najít vhodný kompromis mezi tloušťkou skla a odolností láhví (pevností láhví).



Obrázek 3-5 Finální trysky – řádová voda a studená voda [8]

### 3.1.6 Výstup láhví

Láhve jsou ochlazené a připravené pro plnění v plniči. Vykládací mechanismus (Obrázek 3-6) je opatrně vloží na dopravní pás. Na výstupu jsou již láhve odděleny sklem, tím se minimalizuje riziko kontaminace. Dopravník pak vede láhve přímo do mokré části k inspektoru prázdných láhví EBI.



a.



b.

Obrázek 3-6 a. Výstup láhví z myčky na dopravní pás [2]  
b. Výstup na myčce láhví v pivovaru Radegast [8].



U každého stroje musí všechny po sobě jdoucí kroky správně fungovat, jinak hrozí snížení efektivity nebo zastavení stroje. To samé platí u myčky láhví. Proto se pravidelně provádí čištění myčky a kontrola komponentů.

### 3.2 Typy myček a technologické prvky

V této kapitole se zabývám technologickým řešením. Blíže jsou popsány komponenty a funkční celky v myčce. Netýkají se pouze myčky v Pivovaru Radegast, ale představují obecné trendy na myčkách láhví.

#### 3.2.1 Myčka láhví s jedním koncem (single-end)

Vstup a výstup myčky jsou situované na jedné straně (viz Obrázek 3-7) myčky. Aby nedošlo ke kontaminaci umytých láhví, mají čisté láhve výstup nad špinavými.



Obrázek 3-7 Myčka láhví s jedním koncem [4]

Toto řešení myčky má hlavní výhodu v kompaktnosti. Jsou konstrukčně řešeny tak, aby se celý mycí proces vešel na malou plochu při zachování mycí kvality. Další výhodou je, že obsluha stroje nemusí přebíhat z jedné strany myčky na druhou, tím se zvyšuje bezpečnost pracovníků. Jako hlavní nevýhoda je riziko kontaminace čistých

láhví. Ačkoli jsou od sebe dostatečně vzdálené, obsluha může nechtěně zasáhnout do řady s čistými láhvemi. Nejde také eliminovat praskání láhví. Láhve mohou prasknout jak únavou materiálu, tak i špatným najetím do vstupu do myčky. Tím se střepy rozletí a mohou se dostat do čistých láhví.

### 3.2.2 Myčka láhví s dvojitým koncem (double-end)

Jak již název napovídá, myčka má oddělený vstup a výstup. Konstrukce je větší, ale tomu odpovídá i výkon umytých láhví za hodinu. Myčka v Pivovaru Radegast umyje za hodinu průměrně 46 000 láhví. Maximální rychlost mytí (bez poruch a prostojů) je cca 65 000 láhví za hodinu (viz 3-1 Tabulka). Tato data jsem měřil jako součást projektu na letní stáži v Plzeňském Prazdroji.

Stroj	Maximální rychlost
[-]	[láhví/hodinu]
Depaletizér	67263,6
Vykladač	78795,2
Myčka láhví	65388,1
Inspektor EBI	54785,0
Plnič	54888,8
Etiketovačka	58373,8
Vkladač	76855,2
Paletizér	68259,1

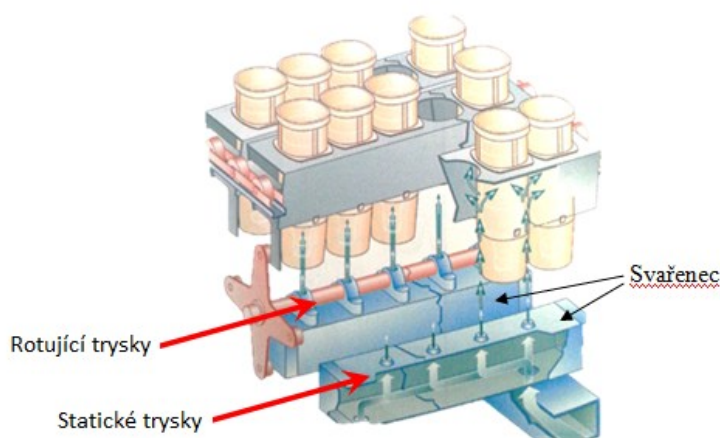
3-1 Tabulka rychlosti jednotlivých strojů na lince v Pivovaru Radegast [8]

Výhodou tohoto řešení je již výše zmíněná rychlost. Riziko kontaminace je zde minimalizováno, jelikož láhve se hned za myčkou dostávají do mokré části s přísnými hygienickými předpisy. Nevýhoda je hlavně pro operátora obsluhujícího myčku. Většinu času je operátor na vstupu do myčky a hlídá přísun láhví. Když láhev praskne, odstraňuje střepy. Na výstupu již není takové riziko praskání láhví, ale když je potřeba, musí operátor projít kolem celého stroje a tím se zvyšuje riziko uklouznutí a úrazu. Takže ztráta vizuálního kontaktu s výstupem je zde v podstatě jediná nevýhoda, když nebereme v potaz rozměry.

### 3.2.3 Trysky

Zbavit se nečistot pouhým máčením není možné, a proto jsou v myčce použity trysky. Jejich hlavní smysl je dopravit vodu přesně na místo určení (například vnitřek láhve). Důležité u trysek je, aby po celé délce jednotlivé řady trysek stříkaly stejným proudem. Trysky jsou připevněny na svařenec, ve kterém proudí voda. V myčce je více druhů trysek pro různé účely.

- **Statické trysky** (nebo nepřetržité oplachy) tryskají neustále. Jejich úkolem není pouze mytí láhví ale i oplachování samotných komponentů v myčce (řetězu, koše na láhve a tak dále, viz Obrázek 3-8). Tyto trysky se nepoužívají pro čistou řadovou vodu, jelikož by spotřebovaly zbytečně moc vody a taky by tato voda ochlazovala řetěz a jiné části myčky, což je nežádoucí. Náklady na ohřev vody a louhové vany by pak narostly. Tento typ trysky se používá pouze tam, kde je potřeba oplachovat láhve z vnějšku.

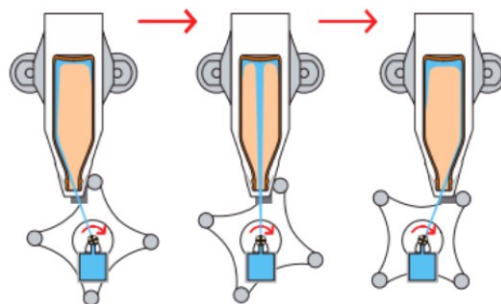


Obrázek 3-8 Schéma rotujících a statických trysek [1]

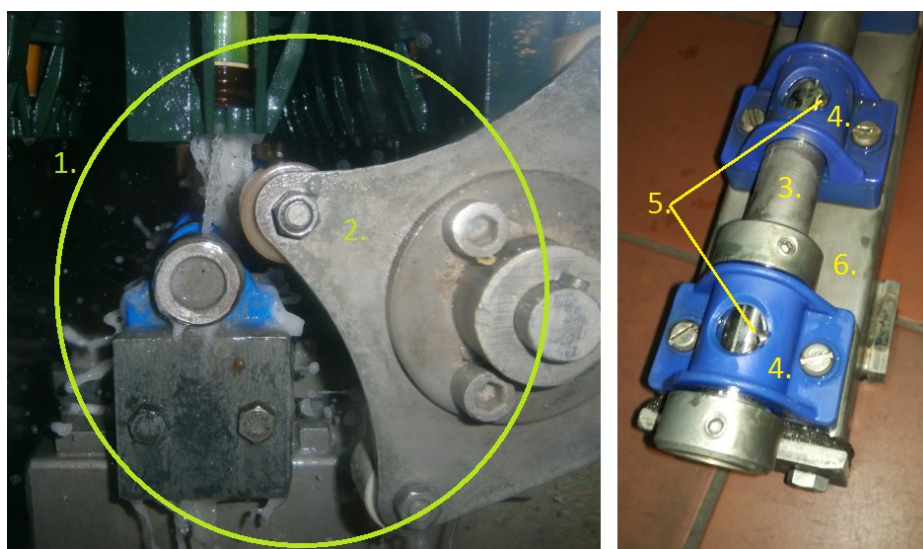
- **Rotační trysky** jsou navrženy tak, aby proud vody mířil dovnitř láhve. V důsledku posunu lahví a rotace trysek je důkladně vypláchnut celý vnitřek láhve. Princip rotující trysky zobrazuje Obrázek 3-9. Koše s láhvemi, které jsou připevněny na řetěz poháněný elektromotorem, narazí na konstrukci trysky, která otáčí s ocelovou tyčí, ve které jsou po obvodu



navrtné díry pro ostřík. Tímto je zaručeno, že tryska nestříká po celou dobu a také je zabezpečeno opláchnutí celého vnitřku láhve.



Obrázek 3-9 Princip rotující trysky [2]



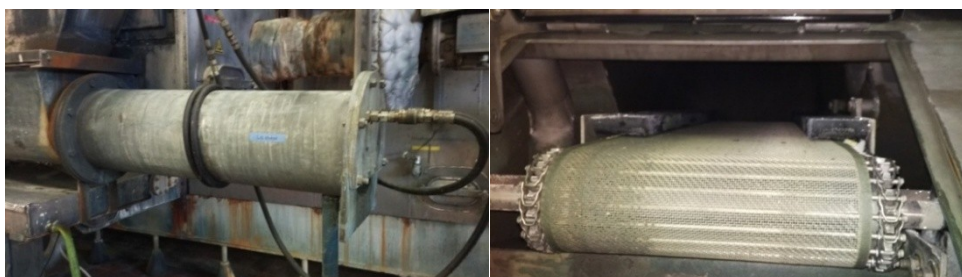
Obrázek 3-10 Rotační trysky v Pivovaru Radegast [8]

Vlevo jsou zobrazeny rotační trysky (1) připevněné ke konstrukci v myčce. Je zde vidět rotační mechanismus pro otáčení tryskou (2). Vpravo je vymontovaná konstrukce trysek s otáčivou tyčí (3) s navrtnými dírami pro ostřík (5). Tyč je připevněna plastovými objímkami (4) ke svařenci (6), ve kterém proudí voda pod tlakem.

Když chceme regulovat spotřebu vody na tryskách, je hlavním parametrem průměr vrtané díry v otáčecí tyči. V průběhu mé diplomové práce již provedli zmenšení průměru ze 3 mm na 2.5 mm. Tlak vody je konstantní a udržuje se od 1 bar do 2 bar. Důležité je, aby voda dostříkla na dno láhve (láhev je otočena dnem vzhůru) a efektivně ji opláchl. Jakékoliv změny tlaku musí být prokonzultovány s oddělením kvality.

### 3.2.4 Odstranění etiket

Efektivní odstraňování etiket má větší vliv na celkové náklady, než se může na první pohled zdát. Odstraňování probíhá máčením a ostřikováním ohřátým louhovým roztokem v sekci s louhovými vanami. Jelikož papír nasákne louh, je nutné tyto etikety efektivně vyhnout do hydraulického lisu (Obrázek 3-11 a.; c.), který je zbaví většiny louhu. Není možné odstranit veškerý louh a tím odstraňování etiket představuje ztráty louhu. Louh odstraněný lisem není vhodné používat znovu a vkládat do oběhu, jelikož jeho struktura připomíná bláto. Další problém je, když nejsou z louhu odstraněny všechny etikety. Rozkládají se v louhové vaně a tím snižují kvalitu louhu. Proto je velmi důležité pravidelně čistit a kontrolovat systém pro vyhrnování etiket nebo jejich zbytků (viz Obrázek 3-11 b.). Další ztráty jsou tepelné. Etikety jsou ohřáté a jejich odstraněním se odvádí teplo.



a.

b.



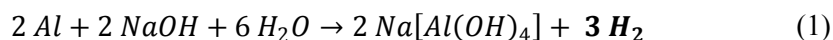
c.

Obrázek 3-11 a. Hydraulický lis na lisování etiket  
b. Pás na vyhrnování zbytků etiket  
c. Zlisované etikety [8]

### 3.2.5 Odsávání vodíku

Jsou různé typy etiket a jejich různé fyzické a chemické vlastnosti. U prémiových piv se (většinou) používají hliníkové části etiket. Jedná se hlavně obalení hliníkem ústí

láhve (krku). V tom případě vzniká chemická reakce vody a louhu s hliníkem a tvoří se mimo jiné vodík [5].



Vodík nemá chuť, zápach ani barvu, a proto ho není možné, bez senzorů a technických přístrojů, ve vzduchu lokalizovat [6]. Je výbušný, a proto je velice nebezpečný pro okolí. Jestliže nejde jeho tvorbě zabránit změnou chemických látek, musí se odvětrávat, jinak by mohlo dojít k výbuchu. Řešením je přídavná ventilace na horní stěně myčky.

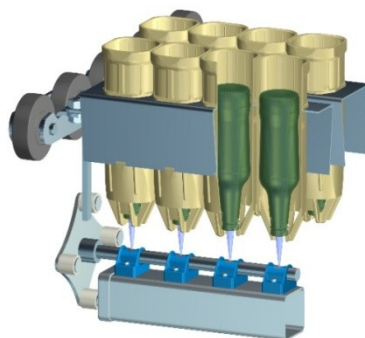
Není vhodné, aby ventilace byla předimenzovaná. Odvětrává se i teplo a tím vznikají tepelné ztráty (až 8 MJ/hl [1]). Jelikož vzduch má velký obsah vodních par, odvětrává se i voda a vznikají vodní ztráty. Vodík se odvětrává pouze v případě mytí láhví s hliníkovými prvky.



Obrázek 3-12 Systém odsávání vodíku [8]

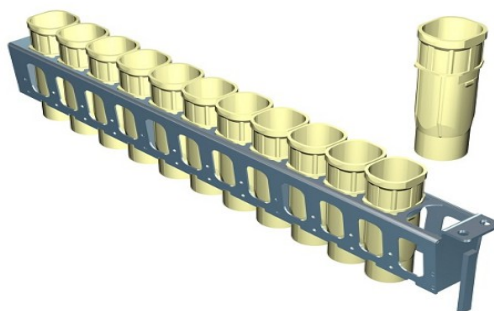
### 3.2.6 Koš na láhve

Prvek, který se aktivně nepodílí na mytí, ale je nezbytnou součástí pro průběh celého mycího procesu, je koš na láhve (viz Obrázek 3-13). Jak jsem již dříve popisoval, láhve jsou na vstupu do myčky zvednuty a vloženy právě do košů, který je připevněný k řetězu a dopravuje koše s láhvemi celý mycí proces.



Obrázek 3-13 Vlevo- schéma koše vloženého do držáku, který je připojený na řetěz. [7]

Velkou roli v konstrukci koše hraje materiál, z jakého jsou konstruovány, a jejich celková hmotnost. Zmenšení konstrukce sníží celkovou hmotnost a to má pozitivní vliv na chlazení a ohřívání systému před začátkem mytí (viz Obrázek 3-14). Další možnou úpravou koše je dno s otvory. To zaručí lepší prostupnost vody při oplachování.



Obrázek 3-14 Optimalizovaná konstrukce držáku a košů na láhve [7]

### 3.2.7 Řetěz

Řetěz je posledním základním technickým prvkem v myčce. Na něm jsou připevněny držáky s koši. Stejně jako u optimalizace košů a držáků je stěžejní zajistit, aby řetěz nebyl zbytečně těžký. Důvody jsou stejné- úspora tepelné energie, vody při oplachování a v neposlední řadě i výkonu elektropohonů.



Obrázek 3-15 Řetěz v myčce [1]

### 3.3 Chemické a fyzikální proměnné v procesu mytí láhví

Cílem této kapitoly je přiblížit a vysvětlit vlivy chemických aditiv, teploty a různých jiných vlastností procesu mytí.

#### 3.3.1 Teplota

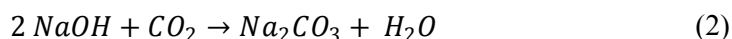
Teplota je velmi důležitým prvkem při jakémkoliv mytí. Vyšší teplota příznivě ovlivňuje rychlost rozpouštění. V myčce láhví je tento princip využíván také - s rostoucí teplotou v myčce se proces mytí zefektivňuje. Bohužel příliš vysoká teplota ovlivňuje spotřebu vody (na ochlazování láhví) a rovněž tepelné energie. Pro zvolení optimální teploty pro máčení v louhových vanách je vhodné se řídit čtyřmi principy:

- spotřeba tepelné energie by měla být monitorována
- všechny chemikálie se musí volit na základě podmínek na místě pivovaru (voda může být tvrdá nebo měkka, atd.)
- kvalita louhu musí být rovněž monitorována. Když je kvalita nízká je třeba louh vyměnit. V Pivovaru Radegast se tento proces dělá co tři měsíce pro zajištění nejvyšší kvality mytí.
- teplota by měla zaručit ničení bakterií. Minimální doporučená teplota by měla být 76° [1]. V případě, že se pracuje s čistými láhvemi, nebo podmínky jsou velice dobré, je možné teplotu snížit. Nesmí se polevit na kvalitě mytí.

### 3.3.2 Louh (hydroxid sodný - NaOH)

Louh se v potravinářském průmyslu běžně používá. Je to v potravinářství nejlepší možný detergent, co se týče ceny a kvality. Popisujeme ho dvěma faktory: mycí schopností louhu a jeho koncentrací.

- **Mycí schopnost louhu** můžeme chápat jako účinnost mytí a rozpouštění nečistot. S časem louh v myčce chemicky stárne. V průběhu mytí se tvoří různé chemické složky vlivem chemických reakcí (například uhličitany), které snižují jeho efektivitu. Na tvorbu nežádoucích složek v louhových vanách má vliv především čistota vrácených láhví. Další faktor je oxid uhličitý, který reaguje přímo s louhem a tvoří uhličitany (v tomto případě uhličitany sodný  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) [1]



Jak bylo popsáno v kapitole 3.2.5, při použití hliníkových obalů se vytváří vodík, který je výbušný.

### 3.3.3 Přísady

Pro dosažení kvalitního výsledku v mycím procesu je nezbytné přidávat do oběhu přísady, které efektivitu myčky zvětšují a chrání její komponenty. Negativní faktor přísad je, že jsou drahé (v celém mycím procesu jsou nejnákladnější položka, až 40% konečné ceny, viz Obrázek 2-2), ale pro dosažení kvalitního výsledku jsou nezbytné. Právě jejich cena je důvodem, proč je důležité správně optimalizovat dávkování přísad. Od dodavatele můžeme zakoupit předmíchané přísady, nebo míchat je na místě podle potřeby. V pivovaru Radegast se používá metoda míchání přísad na místě.

#### 3.3.3.1 Přísady pro louh a jejich funkce

Používají se saponáty pro zmenšení povrchového napětí louhu a tím se zlepšuje jejich mycí schopnost- snadněji proniknou do látky, lepidla a tak dále. Další přísady



jsou proti nadbytečnému pění. Pěna může ale vznikat i při nežádoucím vzduchu proudícím v potrubí s vodou.

### **3.3.3.2 Přísady přidávané do vody a jejich funkce**

V myčce, kde se teplota pohybuje kolem 50°C a kde jsou zbytky louhu, jsou ideální podmínky pro srážení tvrdé vody [1]. Používají se proto přísady pro změkčování vody tak, aby pH vody bylo menší než 11. To zabraňuje tvorbě šupin (usazený kámen) na prvcích v myčce. Další přísadou je oxid chloričitý  $\text{ClO}_2$ . Je to běžný přípravek pro úpravu a dezinfekci vody. Přidává se na finální ostřiky, kde eliminuje mikroorganismy. Dezinfikuje jak láhve vystupující z myčky tak i části na konci myčky. Pro jeho regulaci je připojen elektricky řízený systém (viz Obrázek 3-16).



Obrázek 3-16 Systém pro dávkování oxidu chloričitého [8]

### **3.3.4 Kvalita vody**

Jelikož voda je základem pro mycí proces, je její kvalita velmi důležitá jak z krátkodobého hlediska (špína ve vodě a tak dále), tak i z hlediska dlouhodobého (tvrdost vody a usazování kamene). Právě tvrdá voda je nežádoucí, protože snižuje efekt louhu. Ačkoliv je možné tvrdost vody měnit přísadami, je to velice neefektivní způsob. Je proto důležité mít zdroj vody s obsahem mezi 70 ppm až 100 ppm uhličitanu vápenatého  $\text{CaCO}_3$ .

### **3.3.5 Odstraňování kamene (odkamenování)**

Usazeniny kamene jsou velkým problémem ve všech vodních systémech. Usazeniny vodního kamene na ohřevech louhových van razantně ovlivňují spotřebu tepelné energie. Dále mají vliv na množství přenášeného louhu z louhové vany na komponentech myčky (které přenášejí láhve- koše, řetěz). Například na koších na láhve usazeniny zvětšují množství přenášeného louhu a tím se zvyšuje i spotřeba vody na oplachy. Správné ošetřování vody může minimalizovat tvoření vodního kamene, ale i tak je nutné čas od času tyto vrstvy odstranit. Převážně se odstraňování kamene provádí jednou ročně (Pivovar Radegast).

## **3.4 Standardní postup ve snižování nákladů**

Některé postupy pro vyhodnocení efektivity myčky láhví jsou jako základní doporučení pro pivovary. Zde se soustředím na ty, které se týkají tématu mé diplomové práce a souvisí s hydraulikou obecně.

### **3.4.1 Seřízení trysek**

Dostat proud vody na požadované místo je základním předpokladem pro úsporu. Jsou-li trysky špatně synchronizované, tak voda může začít ostříkovat ještě před tím (nebo po tom), než se láhev dostane nad tryšku. To má vliv na kvalitu opláchnutí i ochlazení. Předejít tomu se dá tak, že se změří teplota láhví před a po projetí tryškami.

### **3.4.2 Ztráty vody z důvodu ucpaných trysek**

V předchozích kapitolách jsem zmínil, že při čištění etiket vzniká riziko ucpaní trysek zbytky etiket. Voda z této ucpané trysky se nedostane na určené místo pro oplach. Veškerý průtok ucpanou tryškou je brán jako ztrátový a nesprávně opláchnuté láhve jsou vyřazeny inspektorem prázdných láhví. Z toho důvodu se trysky pravidelně vytahují z myčky, rozebírají a čistí. Dále je potřeba sledovat možné úniky na tryškách z důvodu netěsností a tyto netěsnosti eliminovat. Správná funkčnost trysek se jednoduše pozoruje při vytažení a údržbě.



### **3.4.3 Měření spotřeby vody**

Aby bylo možné sledovat spotřebu vody a v případě velkých změn provést údržbu, je nutné mít nainstalovaný vodoměr na vstupu do myčky. Když nemáme možnost změřit spotřebu vody na množství zabaleného piva, není možné určit efektivitu myčky.

### **3.4.4 Ovládání přísunu čisté vody**

Již jsem zmiňoval, že spotřeba čisté vody je na myčce velice důležitá. Čím je spotřeba čisté vody menší, tím je myčka finančně efektivnější a ekologičtější. Tlak na tryskách by měl být stabilní. Jakékoliv pulzace mají negativní vliv na trysky (můžou je s časem poškodit) a spotřebu vody.

V Pivovaru Radegast se setkáváme s pulzacemi na tryskách pro finální ostřík. Tlak na finálních tryskách pulzuje od 1 baru do 2 barů. Tyto pulzace jsou pravidelné co 2 sekundy. Jestliže na stáčecí lince je třisměnný provoz, dochází časem k praskání svařence, na kterém jsou trysky připevněny (cca 1x do roka).

Jakékoliv zastavení myčky (prostoje, poruchy) způsobí vypnutí přísunu čisté vody do finálních ostříků z důvodu úspory pitné vody. Tuto funkci plní automatický pneumaticky ovládaný uzavírací ventil.

### **3.4.5 Řízení a optimalizace čerpadel**

Údržba čerpadel a elektromotorů důležitá. Úsek údržby pravidelně kontroluje stavy ložisek a opotřebení. Často se ale přehlíží správná volba čerpadel. Ty mají nezanedbatelný vliv na náklady. Počáteční investice do nových čerpadel se z dlouhodobého hlediska většinou vždy vyplatí. Řízení čerpadel by mělo být prováděno frekvenčním měničem. Když myčka stojí z důvodu poruchy na jiném stroji, je důležité udržovat láhve mokré. Jestliže zbytkový louh na láhvích začne přisychat, začne se tvořit šedý povlak a ten není možné odstranit jednoduše oplachem čisté vody. Není vhodné, aby pro tento účel všechna čerpadla byla nastavena na výkon při běžném provozu.

Frekvenční měnič proto sníží výkon na minimální požadovanou hodnotu a tím se ušetří náklady na elektrickou energii.

## 4 Posouzení přívodního řádu k tryskám s ohledem na hydraulický ráz

Z dat získaných z vodoměru na přívodu do myčky a vodoměru před finálními tryskami je zřejmé, že hlavní spotřeba řadové vody je na finálních tryskách (viz Tabulka 4-1). Připouštění řadové vody do jiných částí myčky je zanedbatelné množství. Tyto přívody jsou pro napouštění myčky po sanitaci a vyprázdnění. Celkové vyprázdnění myčky probíhá 2x do týdne (to se nezapočítává do vody spotřebované na mytí). Přívod vody do myčky je v obvodu určeném pro celé stáčírny. V hlavním přívodu do stáčíren se pomocí redukčního ventilu reguluje tlak. Po redukčním ventilu se tento přívod větví na přívod vody do myčky, sociální vodu pro stáčírny a tak dále. Na vstupu do myčky a před finálními tryskami je vodoměr, spotřeba vody na myčce je pořád monitorována. Pro účely mé diplomové práce jsem shromáždil data za měsíc březen.

Období od 01. 03. 2017 do 28. 03. 2017			
Voda - spotřeba [m <sup>3</sup> ]	Hlavní přívod	2 968,60	[m <sup>3</sup> ]
	Finální stříky	2 952,20	[m <sup>3</sup> ]
Poměr spotřeby na finálních tryskách k celkové spotřebě vody		<b>99,45%</b>	

Tabulka 4-1 Celková spotřeba vody a spotřeba vody finálním ostřikem [14]

### 4.1 Popis obvodu řadové vody

Obvod pro čistou vodu na myčce láhvi se skládá z hlavního přívodu čisté vody, kde je uzavírací klapka (Obrázek 4-1 a) a hlavní vodoměr (Obrázek 4-1 b). Dále se přívod větví na potrubí pro dopouštění van (dopouštěcí potrubí, Obrázek 4-2). Obrázek 4-2 nezobrazuje všechny připouštěcí větve, jde jenom o názornou ukázkou. Voda se dopouští do vany s přidávným louhem, do hlavní luhové vany, do předstříkové vany, do obvodu

se studenou vodou a do nádrže s teplou vodou II. Vany pro máčení jsou vybaveny start-stop senzory pro snímání hladiny. Jestliže hladina klesne pod minimální stanovenou hladinu potřebnou pro máčení, pneumaticky ovládaný ventil (Obrázek 4-1 c.) se otevře a dopustí vodu do příslušné vany. Tato situace však nastává velice zřídka. Jednalo by se o objemové ztráty ve vanách (např. díra ve vaně). Jak jsem výše zmínil, dopouštění van proto probíhá pouze při sanitacích.



a.

b.

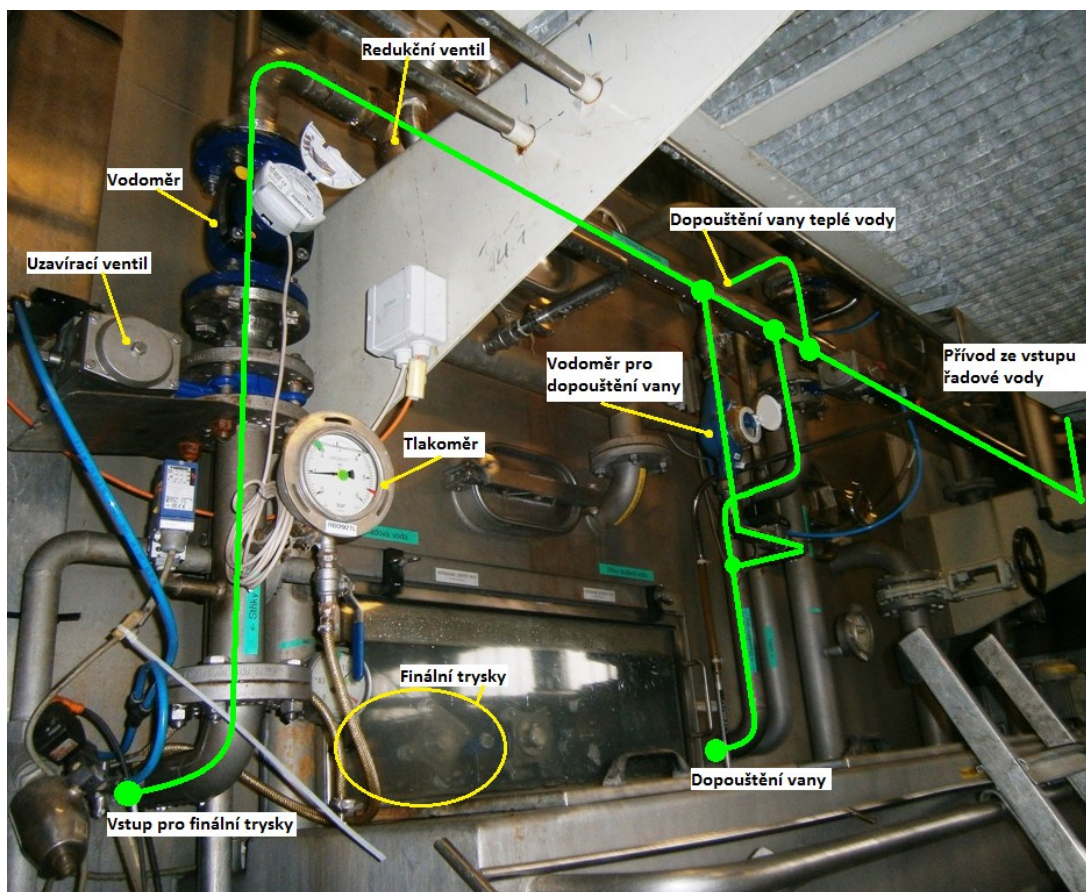
c.

**Obrázek 4-1 a. Pneumaticky ovládaný uzavírací ventil; b. Pneumaticky ovládaný ventil pro připouštění čisté vody; c. Vodoměr pro čistou vodu na hlavním přívodu do myčky [8]**



**Obrázek 4-2 Část obvodu pro čistou vodu s větvením na dopouštění [8]**

Aby bylo zaručeno přesné měření spotřeby vody na finálních tryskách, je před samotné trysky vložen vodoměr (Obrázek 4-3). Pro finální trysky je dostačující tlak kolem 1 baru [8], proto se tlak v přívodním řadu (který je kolem 7 barů [8]) redukuje redukčním ventilem na požadovanou hodnotu. Při tomto tlaku je vyhodnocen dostatečný oplachovací i chladicí výkon. Obrázek 4-3 navazuje na potrubí z obrázku 4-2.



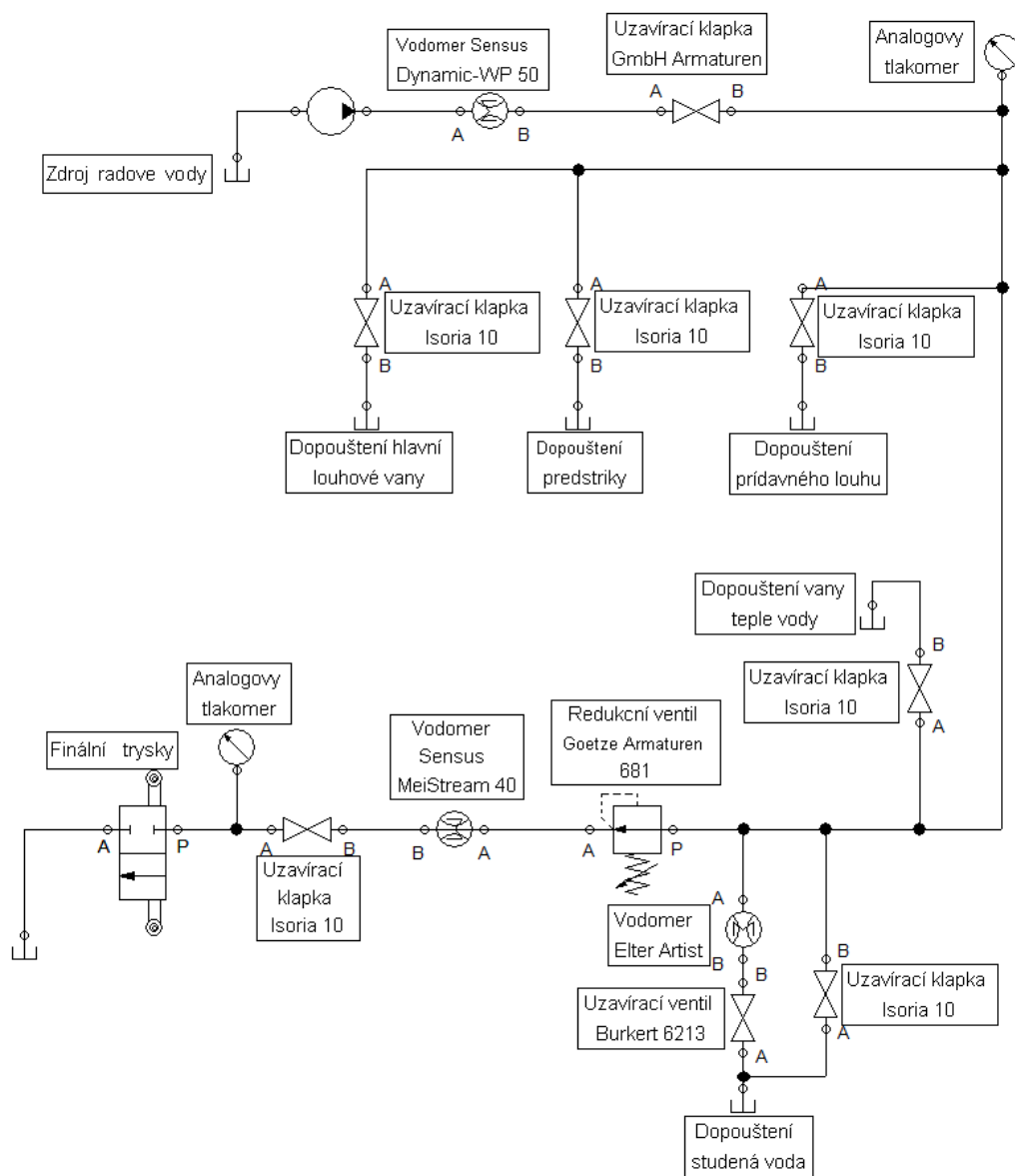
Obrázek 4-3 Potrubí a prvky do finálních trysek [8]

Jednotlivé prvky použité na obvodu řadové vody jsou popsány v následující kapitole.

## 4.2 Specifikace jednotlivých prvků na obvodu řadové vody

Obrázek 4-2 a Obrázek 4-3 v předešlé kapitole zobrazuje obvod s jednotlivými prvky. Nyní bylo mým úkolem všechny jednotlivé prvky specifikovat podle katalogů. Jelikož myčka je z roku 1993, většina prvků byla vyměněna nebo přibýly další prvky při modernizaci stáčecí linky. Proto specifikace byla pracná a nebylo možné použít originální seznam prvků na myčce. Rekognoskaci hydraulického obvodu jsem provedl přímo na místě v pivovaru Radegast. Každý prvek jsem musel rovněž vyfotit. Některé prvky myčky bylo možné zdokumentovat pouze při demontáži z myčky (Trysky- viz Obrázek 3-10, čerpadlo pro přečerpání vody na myčku beden- viz Obrázek 5-5). U popisu jednotlivých prvků je uveden počet prvků použitých v obvodu, jejich světlost

(je-li k dispozici), katalogový typ prvku (je-li k dispozici) a přibližné umístění prvku v obvodu. Rovněž je přiloženo schéma pro řadovou vodu (viz Obrázek 4-4).



Obrázek 4-4 Schéma obvodu pro čistou vodu k finálním tryskám [8]

#### 4.2.1 Hlavní vodoměr

Počet	Světlost	Prvek	Typ	Umístění
1	50	Vodoměr	Sensus WP-Dynamic 50	Hlavní přívod řadové vody na vstupu do myčky

Tabulka 4-2 Specifikace prvku [8]

Jak jsem již popisoval v kapitole 4.1, první prvek na vstupu řadové vody do myčky je vodoměr pro sledování celkové spotřeby řadové vody na myčce.

Výrobce udává tento typ jako vodoměr pro pitnou studenou vodu se jmenovitou světlostí od DN 40 až do DN 400. Má vodotěsné počítadlo a vysokou odolnost proti přetížení. Na myčce je použit vodoměr se jmenovitou světlostí DN 50. V katalogu je udáván jmenovitý průtok  $15 \text{ m}^3/\text{h}$ , maximální průtok (jednou za 24 hodin)  $90 \text{ m}^3/\text{h}$  a minimální průtok je  $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$ [9]. Průměrná hodnota průtoku se pohybuje (za měsíc březen) kolem  $2,5 \text{ l/s}$  a to je  $10,8 \text{ m}^3/\text{h}$ . Pro výpočet okamžitého průtoku byla jediná možnost odečíst tuto hodnotu na vodoměru. Součástí vodoměru je počítání celkové spotřeby vody, pak je zde měřidlo, které měří spotřebu po jednom litru na stupnici od 0 do 10 litrů s nejmenším možným odpočtem 0,5 litru. Pro měření okamžitého průtoku jsem odečítal hodnoty právě na tomto měřidle. Došel jsem k závěru, že za 2 sekundy proteče 6,5 l vody. Průtok je proto  $3,25 \text{ l/s}$  a to je  $11,7 \text{ m}^3/\text{h}$ . Tato hodnota se proto přibližuje jmenovitému průtoku vodoměru. Tuto hodnotu budu brát jako výchozí pro další výpočty.



Obrázek 4-5 Hlavní vodoměr [8]

Pro účely sledování spotřeby vody byl vodoměr zapojen do počítačového systému pro snímání dat, aby bylo možno vytvořit grafy spotřeby vody, viz Obrázek 4-13.

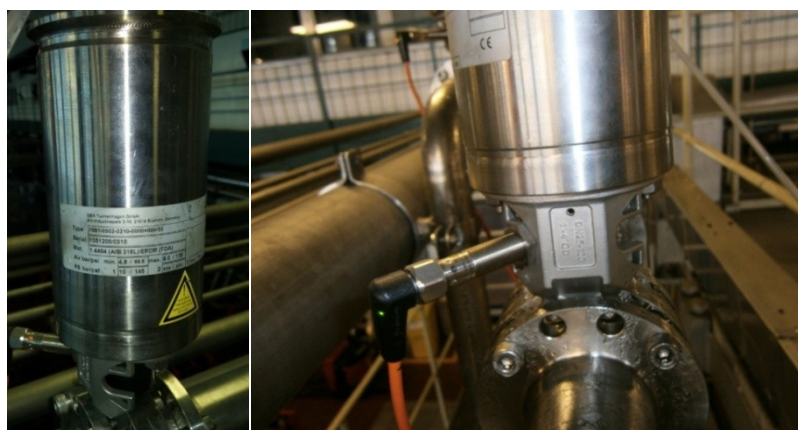
#### 4.2.2 Hlavní uzavírací ventil

Počet	Světlost	Prvek	Typ	Umístění
1	50	Hlavní uzavírací motýlový ventil/klapka	M-S Armaturen GmbH	Hlavní přívod řadové vody na vstupu do myčky

Tabulka 4-3 Specifikace prvku [8]



Dalším prvkem, který se nachází ihned za vodoměrem, je uzavírací motýlový ventil. Výrobce je společnost M-S Armaturen GmbH. Na přívodu řadové vody je použit pouze jednou. Je to hlavní uzavírací ventil přívodu čisté řadové vody. Používá se, když se zastavuje myčka z důvodu čištění.



Obrázek 4-6 Uzavírací motýlový ventil [8]

#### 4.2.3 Uzavírací ventily pro dopouštění van a před finálními tryskami

Počet	Světlost	Prvek	Typ	Umístění
6	50	Uzavírací pneumaticky ovládané ventily	ISORIA 10	Dopouštění van- 5x a finální stříky- 1x

Tabulka 4-4 Specifikace prvku [9]

Následující prvek použitý v obvodu pro řadovou vodu je uzavírací ventil pro dopouštění van. Výrobce je společnost KSB a jedná se o typ ISORIA. Tento typ uzavíracích klapek je konstruován pro tlaky od 10 do 25 bar [9]. Tlak řadové vody se pohybuje kolem 7 barů, proto typ ISORIA 10 (do 10 barů) je dostačující. Je v obvodu celkem 6 krát. Pro dopouštění van jsou většinu svého času uzavřené, nejvíce se využívá tento uzavírací ventil před finálním stříkem. Uzavírá se vždy při zastavení práce myčky z důvodu prostoje. Tato funkce je automatická kvůli šetření vody.



Obrázek 4-7 Uzavírací ventil pro dopouštění van a před finálními tryskami [8]

#### 4.2.4 Analogový tlakoměr

Počet	Světlost	Prvek	Typ	Umístění
2	-	Analogový tlakoměr	-	Hlavní přívod řadové vody a před finálními stříky

Tabulka 4-5 Specifikace prvku [8]

Pro orientační snímání tlaku jsou použité dva analogové tlakoměry. První je na hlavním přívodu řadové vody za uzavírací klapkou pro sledování tlaku na vstupu řadové vody do myčky do myčky. Druhý slouží ke sledování tlaku před finálními tryskami (Obrázek 4-8), nachází se za redukčním ventilem, na kterém jsou nastaveny 2 bary. Pro operátory na myčce je na nich vyznačený tlak při jakékoliv poruše v systému (červeně) a pracovní tlak (zeleně). Výrobce u těchto prvků se mi nepodařilo identifikovat.



Obrázek 4-8 Analogový tlakoměr před finálními tryskami [8]



#### 4.2.5 Vodoměr před finálními tryskami

Počet	Světlost	Prvek	Typ	Umístění
1	40	Vodoměr	Sensus Mei Stream 40	Před finální trysky

Tabulka 4-6 Specifikace prvku [8]

Další vodoměr se nachází těsně před finálními tryskami. Rozdíl celkové spotřeby vody odečtený na hlavním vodoměru na vstupu do myčky a na vodoměru před finálními tryskami dokazuje, že objemové ztráty jsou zanedbatelné a dosahují cca 0,5% (Tabulka 4-1). Tento vodoměr byl rovněž zapojen do počítačového systému pro snímání dat. Analýza spotřeby vody je provedena v následujících kapitolách. Výrobce udává velký měřicí rozsah a použití pro studenou vodu do 30°C [11]



Obrázek 4-9 Vodoměr před finálními tryskami [8]

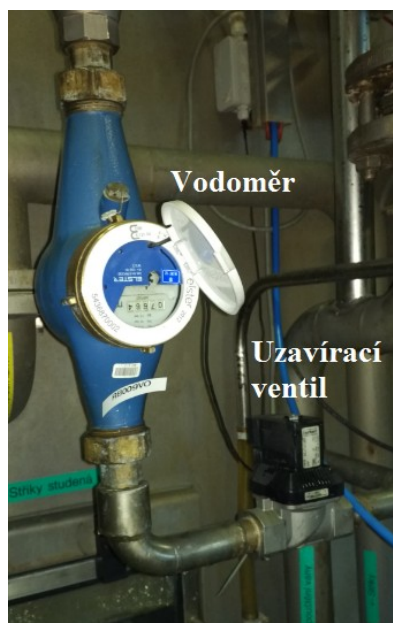
#### 4.2.6 Uzavírací ventil a vodoměr na dopouštění vany

Počet	Světlost	Prvek	Typ	Umístění
1	32	Servem řízený 2/2 membránový ventil	Burkert Type 6213	Před finálními tryskami, dopouštění do vany
1	32	Vodoměr	Elster M100	Dopouštění vany

Tabulka 4-7 Popisy prvků [8]

Ventil je osazen na potrubí pro dopouštění vany. Výrobce je Burkert a jedná se o typ 6213 [12].

Před ním se nachází vodoměr od výrobce Elter Artist [13] pro orientační odečet spotřeby vody na dopouštění do vany studené vody.



Obrázek 4-10 Vodoměr a uzavírací ventil na větvi pro dopouštění vany řadovou vodou [8]

#### 4.2.7 Redukční ventil před finálními tryskami

Počet	Světlost	Prvek	Typ	Umístění
1	50	Redukční ventil	Goetze Armaturen 50 681	Před finálními tryskami

Tabulka 4-8 Specifikace prvku [8]

Do myčky vstupuje redukovaný tlak vody z řady, ale pro finální stříky je nutné tlak dále redukovat na hranici poměru kvality mytí a spotřeby vody. Hlavní je, aby při redukování tlaku vody vstupující do finálních trysek byla vždy zachována kvalita mytí. V pivovaru Radegast je redukční ventil nastavený na 2 bary.

Výrobce redukčního ventilu je firma Goetze Armaturen [15]. Světlost redukčního ventilu je DN 50 série 681.



Obrázek 4-11 Redukční ventil [8]

### 4.3 Analýza otáčení finálních trysek

V případě, že se myčka zastaví z nějakého důvodu (například nedostatek láhví, nedostatek místa pro ukládání láhví za myčkou, poruchy a tak dále) se pneumaticky ovládaný uzavírací ventil (viz Obrázek 4-7) automaticky uzavře po 3 sekundách prostoje [14]. Toto opatření šetří spotřebu čisté řadové vody. Vznik rázu při uzavírání tohoto ventilu není problém, jelikož tento ventil se uzavírá pomalu. Problém vzniká na finálních tryskách. Jak jsem již zmiňoval v předešlých kapitolách, uzavírání těchto trysek probíhá přibližně v intervalu jednou za sekundu (viz níže), tím vznikají pulzace. Tyto pulzace, spolu s dalšími druhy namáhání (mechanické, teplotní), způsobují praskání svařence, na kterém jsou trysky připevněny, a ve kterém proudí voda (viz Obrázek 3-10).

Při pozorování synchronizace otáčení finálních trysek jsem došel k závěru, že trysky se otevírají a uzavírají v různou dobu. Jejich otevírání a uzavírání není navzájem synchronizováno, ale odpovídá pohybu řetězu, který pohání otáčecí mechanismus trysek. Tím se zaručí, že láhev, která je nad tryskami, bude celá řádně vypláchnuta. V určitém okamžiku dojde k uzavření všech 3 řad trysek. Důsledkem je nárůst tlaku z cca 1 baru na 2 bary. Tento tlak snímá analogový tlakoměr. U analogového tlakoměru je známo, že jeho reakce na změny tlaku není natolik rychlá, aby ručička tlakoměru stihla zobrazit reálnou hodnotu hydraulického rázu. Proto tento jev budu simulovat v programu Matlab Simulink, kde bude možno zjistit orientační hodnotu stoupnutí tlaku při uzavření trysek.

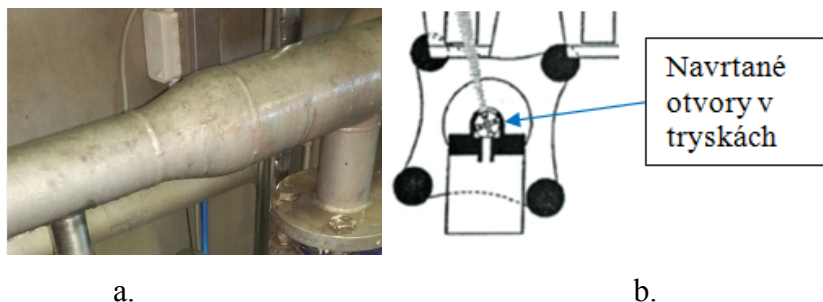
Abychom se s prací trysek seznámili blíže, provedl jsem jednoduché měření času otáčení trysek.

$$90,6 \text{ s} = 10 \text{ otáčektrysky} \quad (3)$$

$$\frac{90,6}{10} = 9,06 \text{ s} * \text{otáčka}^{-1} \quad (4)$$

Tryska se otočí přibližně za 9,06 sekundy o 360°. Jelikož tyč pro trysky má navrtané 4 otvory po obvodu (viz Obrázek 4-12 b.), za jednu otáčku tryska opláchne 4 řady láhví. Změřil jsem rovněž dobu otevření a uzavření trysky. Délka pro otevření a uzavření trysky se v podstatě nelišila a byla v rozmezí od 1,2-1,3 sekundy jak pro otevření tak pro uzavření trysky. Jelikož měření jsem prováděl stopkami a pozorováním, jsou tyto časy orientační.

Délka potrubí od hlavního vodoměru k vstupu do myčky pro finální stříky je 7,85 m. Na této délce je nejdříve 5,4 m potrubí o průměru DN 80. Následně je potrubí zúženo (viz Obrázek 4-12 a.) na průměr DN 50. Před vstupem do myčky se potrubí ještě zúží kvůli připojení vodoměru před finálními tryskami na DN 40 a hned za vodoměrem se rozšíří zpátky na DN 50.

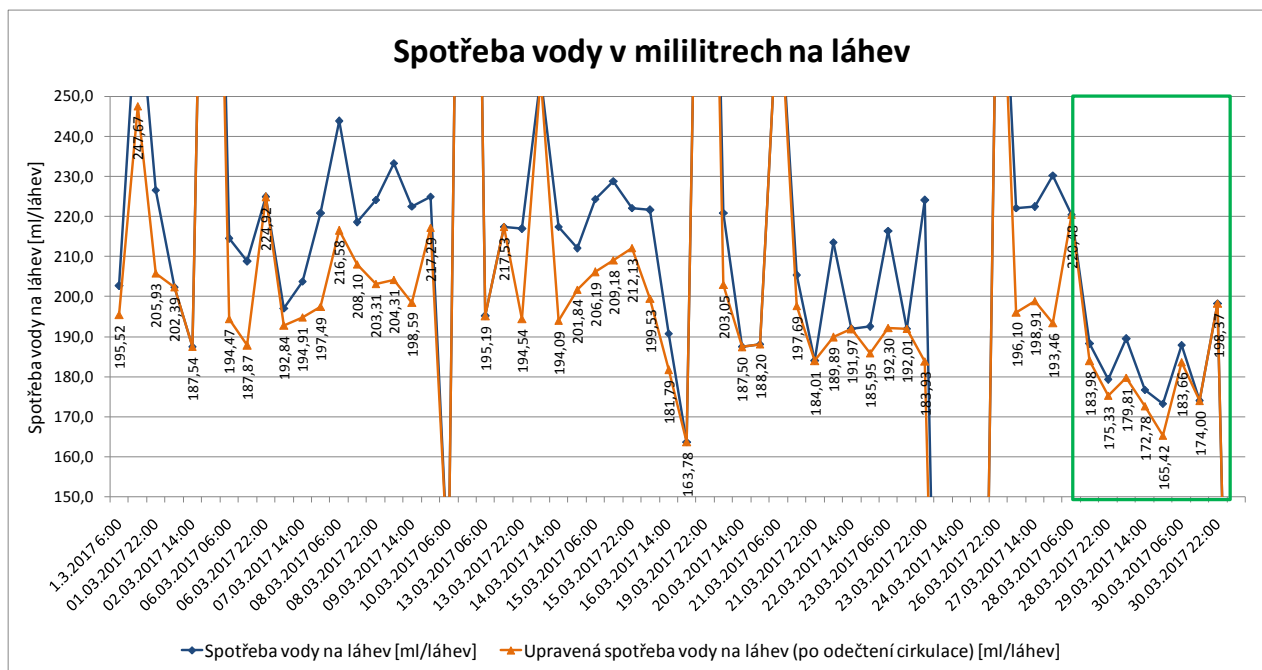


Obrázek 4-12 a. Zúžení přívodu řadové vody do finální trysky z DN 80 na DN 50; b. Řez tryskami [8]

#### 4.4 Optimalizace tlaku na myčce

Průměrně se v pivovaru spotřebovalo cca 200-220 mililitrů vody na jednu umytou láhev. Při popisu obvodu řadové vody jsem musel zjistit, jaké tlaky jsou nastaveny na redukčních ventilech. Při konzultacích v pivovaru mi bylo řečeno, že do myčky vstupuje tlak 4 bary. Po důkladném seznámení s obvodem jsem ale zjistil, že tlak vstupující do myčky není 4 bary, jak bylo předpokládáno, ale reálně kolísá kolem 6-8

barů. Toto zjištění vedlo k redukování tlaku na hlavním redukčním ventilu na přívodu do stáčírny. Po snížení tlaku (viz Obrázek 4-13 datum 29. 3. 2016) na potřebné 4 bary se spotřeba vody zmenšila na průměrných 175 ml/ láhev (bez cirkulace). Tato hodnota je názorně vypočítána v následující kapitole.



Obrázek 4-13 Průběh spotřeby vody na láhev za měsíc březen [14]

Na grafu lze vidět velké výkyvy, ty jsou z důvodu najíždění a vyjíždění celé stáčecí linky. Vysvětlovat zde proč tomu tak je, není smyslem diplomové práce. Dále vidíme dvě proměnné - *spotřebu vody na láhev* a *spotřebu vody na láhev (po odečtení cirkulace)*.

Cirkulaci láhví v myčce zapíná operátor ručně při jakémkoliv delším prostoji na lince. Na láhvích v myčce, které by jenom stály (třeba delší dobu v louhové vaně), by mohly vzniknout nežádoucí vlastnosti (například šednutí láhví) a z toho důvodu se zapíná cirkulace. Myčka klasicky provádí všechny mycí kroky, ale pivo se nestáčí a láhve v myčce cirkulují. Proto jsou spotřeby vody po odečtení času cirkulace menší.

#### 4.5 Analýza spotřeby vody

Graf (Obrázek 4-13) spotřeby vody na láhev je získán z dat z vodoměru a z množství stočeného piva. Přepočtem z množství stočeného piva v hektolitrech je možné

vypočítat, kolik láhví bylo umytých v myčce a tím získat spotřebu vody na láhev. Níže je uveden příklad výpočtu ze dne 29.3.2016 14:00.

Za směnu byla myčka v provozu 445 minut (7 hodin a 25 minut- data provozních hodin myčky, které jsou pořád snímána). Bylo stočeno 1606,8 hektolitrů piva a spotřebováno 56,8 m<sup>3</sup> čisté vody v myčce. Cirkulace myčky byla aktivní 10 minut. Z těchto shromážděných dat lze jednoduše vypočítat spotřebu vody na láhev a další potřebné data.

- Průměrný průtok za směnu v litrech za sekundu:

$$\frac{56,8}{445} \cdot \frac{1000}{60} = 2,13 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \quad (5)$$

- Počet láhví podle stočeného piva:

$$1606,8 \cdot 100 \cdot 2 = 321\,360 \text{ půllitrových láhví} \quad (6)$$

- Spotřeba vody na láhev

$$\frac{56,8 \cdot 1000000}{321360} = 176,7 \text{ ml} \cdot \text{láhev}^{-1} \quad (7)$$

- Výpočet spotřeby vody způsobené cirkulací při průměrném průtoku 2,13 l.s<sup>-1</sup> a délce cirkulace 10 minut.

$$10 \cdot 2,13 \cdot \frac{60}{1000} = 1,28 \text{ m}^3 \text{ vody} \quad (8)$$

- Spotřeba vody po odečtení cirkulace

$$\frac{(56,8 - 1,28)}{321\,360} \cdot 1000000 = \frac{55,52}{321\,360} \cdot 1000000 = 172,78 \text{ ml} \cdot \text{láhev}^{-1} \quad (9)$$

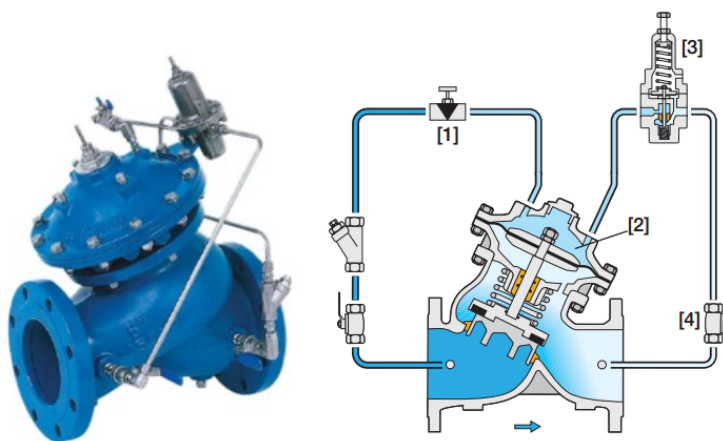
Dále je mým cílem redukovat tlakové rázy a výkyvy před myčkou. Jako první možnost bylo zvolit akumulátor a vložit ho před trysky. Nakonec po konzultacích s jiným pivovarem jsme došli k závěru, že pro snížení kolísání tlaku bude vhodné použít nový, moderní redukční ventil před finální trysky. To řešení aplikovali v pivovaru Šariš a spotřeba vody se jim značně snížila a tlakové výkyvy se rovněž redukovaly.

#### 4.5.1.1 Návrh nového redukčního ventilu za Goetze Armaturen Typ 681

Na finální trysky je potřeba tlak minimálně 1 bar, aby zůstala zachována kvalita mytí. Cílem je udržet proto hodnotu tlaku mírně, ale konstantně, nad 1 bar. To lze dosáhnout ventilem s redukcí na konstantní tlak. Při návrhu ventilu jsme vycházeli z průměru potrubí DN 50 a jmenovitého průtoku 3,25 l/s.

Redukční ventil, který jsme chtěli zvolit, měl být hydraulicky ovládaná tlaková váha, která zaručí konstantní tlak na výstupu bez ohledu na změny průtoku nebo změny tlaku na vstupu. Tento předpoklad zabrání tlakovým pulzacím na finálních tryskách.

Byl zvolen redukční ventil společnosti Bermard model 720.



Obrázek 4-14 Nově navržený redukční ventil Bermard 720 [22]

Jehlový ventil (1) umožňuje proudění vody na horní ovládací komoru (2) a kromě toho jím můžeme regulovat rychlost reakce na změnu tlaku či průtoku. Malý redukční ventil (3) snímá tlak na výstupu a je na něm nastavený potřebný výstupní tlak. Jestliže tlak na výstupu náhle stoupne, rovněž stoupne tlak v horní komoře (2) a tím se uzavře hlavní průtok až do doby, než se tlak ustálí na nastavené hodnotě redukčního ventilu (3). Při poklesu tlaku na výstupu pod nastavenou hodnotu se okamžitě uvolní redukční ventil (3), klesne tlak v horní komoře (2) a otevře se hlavní ventil. Kulový ventil (4) je z důvodu manuálního uzavření.

Obrázek 4-15 zobrazuje již namontovaný nový redukční ventil Bermard 720. Výstupní tlak je nastavený na 1 bar. Celkově se snížily tlakové pulzace a spotřeba vody klesla. Přesné údaje nejsou zatím pro krátkou dobu od instalace k dispozici.





Obrázek 4-15 Namontovaný nový redukční ventil Bernard 720

Počet	Světlost	Prvek	Typ	Umístění
1	50	Redukční ventil	Bernard 720 ES-Y-C	Před finálními tryskami

Tabulka 4-9 Specifikace prvku [8]

## 4.6 Simulace obvodu řadové vody v programu Matlab Simulink

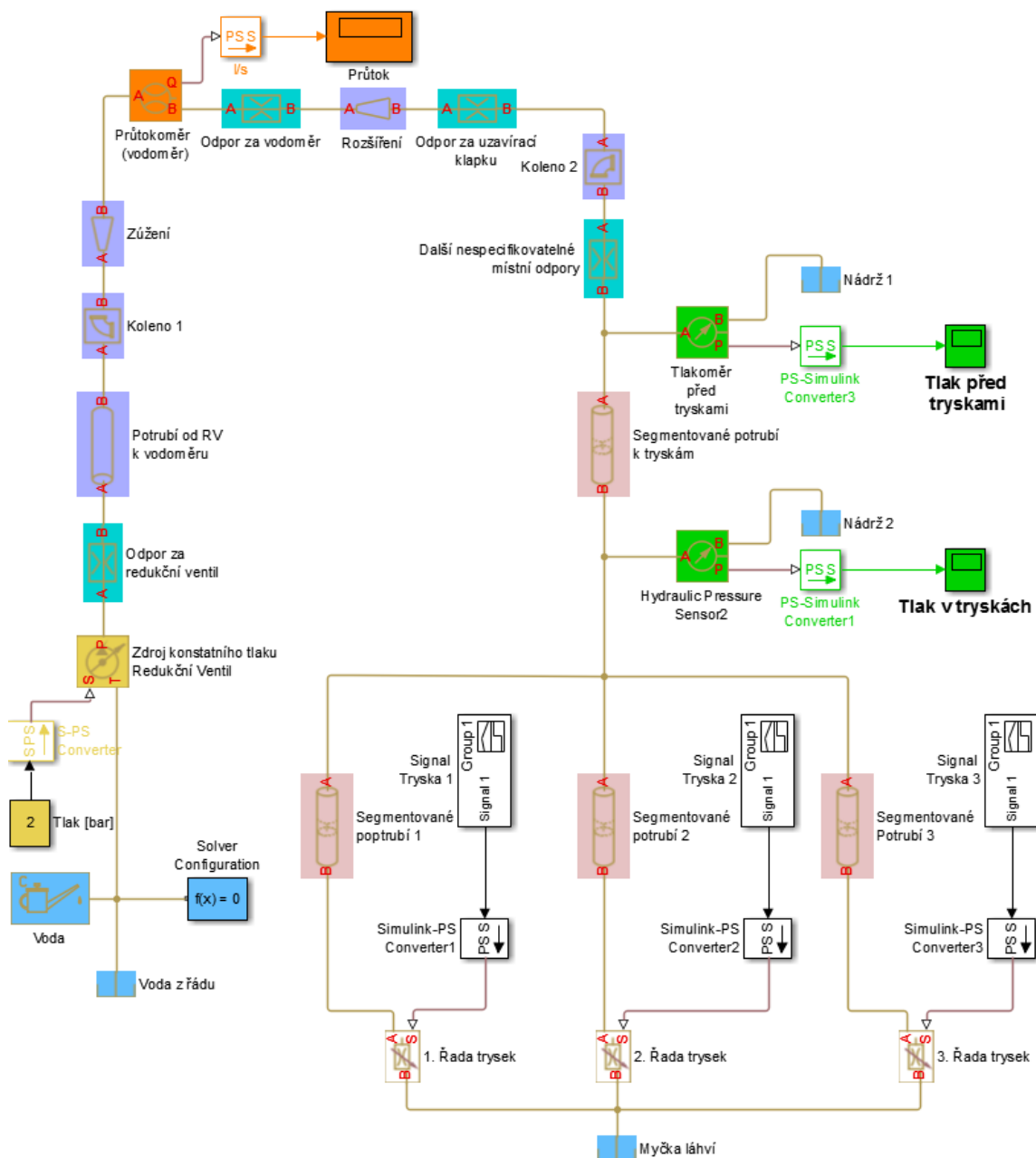
Protože jsem chtěl blíže poznat chování tlaku v obvodu s ohledem na hydraulický ráz, provedl jsem simulaci obvodu řadové vody v programu Matlab Simulink. V této simulaci nejde o přesné simulování hydraulického rázu a jeho kmitání, nýbrž o nastínění situace v tryskách. To znamená, že cílem bylo zjistit nárůst tlaku při náhlém uzavření trysek. Tyto hodnoty tlaku nelze změřit přímo na myšce láhvi. Musel by se provést zásah do konstrukce a to bohužel není možné. Simulace je proto ideálním řešením, jak zjistit potřebné veličiny (v našem případě tlak) v místech, kde to normálně není možné. Pro simulaci jsem volil část obvodu řadové vody od redukčního ventilu.

### 4.6.1 Sestavení obvodu v programu Matlab Simulink

Délka potrubí od redukčního ventilu k vodoměru před tryskami je 2 metry. Na tomto potrubí je koleno. V předešlé kapitole jsem zmiňoval, že před vodoměrem se obvod zúží z DN 50 na DN 40 a za vodoměrem se rozšíří zpátky na DN 50. Hned na



vodoměr navazuje uzavírací klapka s DN 50. Za uzavírací klapkou je analogový tlakoměr, který zobrazuje výkyvy tlaku od 1 baru při otevření trysek a 2 bary při zavření všech tří řad trysek. Do myčky potrubí přes koleno. Průtok odečtený z vodoměru se pohybuje průměrně kolem 3,25 litru. Jeho okamžitá hodnota se může lišit podle toho, kolik řad trysek je právě otevřených. Po vyladění obvodu v Matlabu se proměnné (tlak a průtok) při ustáleném stavu odpovídají reálné situaci.



Obrázek 4-16 Obvod řadové vody sestavený v programu Matlab [21]

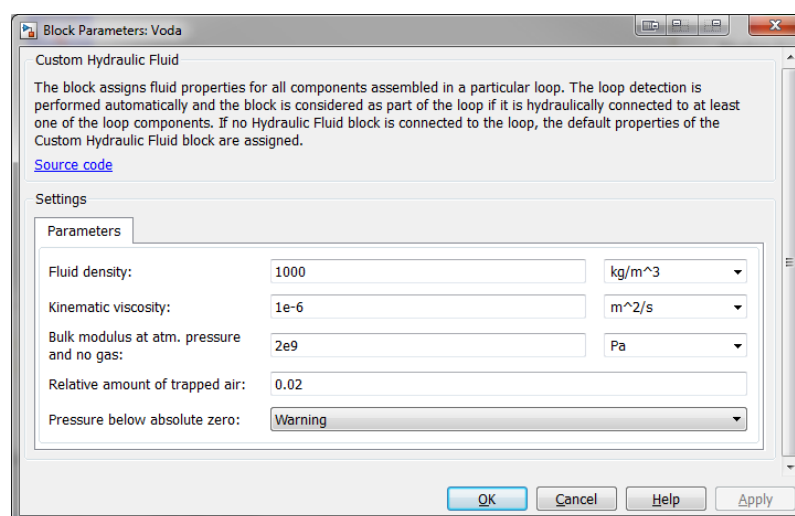
- **Zdroj a kapalina**



Obrázek 4-17 Symboly z programu Matlab Simulink [21]

Pro obvod jsem jako zdroj zvolil zdroj konstantního tlaku, kde jsem nastavil konstantně 2 bary. Nastavený tlak jsem vložil jako konstantu do S-PS převodníku, který převede vstupní bezrozměrný signál (v mém případě 2) na fyzikální signál (2 bary). Od toho se tento převodník jmenuje S-PS converter (Simulink-Physical Signal converter).

Pro kapalinu jsem volil fyzikální vlastnosti vody uváděné v tabulkách (viz Obrázek 4-18). Hustota vody je  $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , kinematická viskozita se s teplotou mění, ale použiji hodnotu  $0,000001 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  [18]. Modul pružnosti vody se uvádí  $2\cdot 10^9 \text{ Pa}$  [19] Množství vzduchu ve vodě jsem zvolil 2%.



Obrázek 4-18 Nastavení kapaliny v programu Matlab Simulink [21]

- **Místní odpory**



Obrázek 4-19 Symbol místního odporu v programu Matlab Simulink [17]

Místní odpor se v programu Matlab Simulink definuje průtočnou plochou (Resistance area), ztrátovým součinitelem  $\zeta$  (pressure loss coefficient) a kritickým Reynoldsovým číslem. U všech prvků v obvodu jsem místní odpor  $\zeta$  specifikoval z katalogu, nebo výpočtem.

Jako první jsem stanovil místní odpor za **redukční ventil GA Série 681 DN50**. Určil jsem ho podle průtokového součinitele  $K_{vs}$ . Tento součinitel je v katalogu (viz Obrázek 4-20)

Series 681: Connection, installation dimensions, ranges of adjustment							
Connection	DN	15	20	25	32	40	50
Inlet DIN EN 10226	G1	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
Outlet DIN EN 10226	G2	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
Inlet pressure SP, HP up to	bar	40	40	40	40	40	40
Inlet pressure LP to	bar	25	25	25	25	25	25
Outlet pressure	bar	0,5 - 2	0,5 - 2	0,5 - 2	0,5 - 2	0,5 - 2	0,5 - 2
Installation dimensions in mm		1 - 8	1 - 8	1 - 8	1 - 8	1 - 8	1 - 8
		5 - 15	5 - 15	5 - 15	5 - 15	5 - 15	5 - 15
	L	142	158	180	193	226	252
	I	80	90	100	105	130	140
	I1	85	95	105			
	H (H1)	102 (128 <sup>1</sup> )	102 (128 <sup>1</sup> )	130 (150 <sup>1</sup> )	130 (150 <sup>1</sup> )	165 (185 <sup>1</sup> )	165 (185 <sup>1</sup> )
	h	33	33	45	45	70	70
	SW1	30	37	46	52	65	75
	SW2	28	35	43	48	57	68
Weight	kg	1,2 (1,5 <sup>1</sup> )	1,3 (1,6 <sup>1</sup> )	2,4 (2,9 <sup>1</sup> )	2,6 (3,1 <sup>1</sup> )	5,5 (6,2 <sup>1</sup> )	6,0 (6,7 <sup>1</sup> )
Coefficient of flow $K_{vs}$	m <sup>3</sup> /h	3	3,5	6,7	7,6	12,5	15

Obrázek 4-20 Průtokový součinitel redukčního ventilu DN 50 [15]

Průtokovým součinitelem se rozumí číslo, které určuje průtokové vlastnosti daného prvku. S rostoucím průtokovým součinitelem roste i průtok prvkem [16]. Průtokový součinitel  $K_{vs}$  se používá především v Evropských zemích. Jeho hodnota udává objem v m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, který proteče daným prvkem při daných referenčních podmínkách. Jako referenční podmínky se uvádí tlakový rozdíl 1 bar, teplota vody 15°C a turbulentní proudění [16]. Podle vztahu uvádějícího propočet mezi průtokovým součinitelem  $K_{vs}$  a ztrátovým součinitelem jsem určil právě ztrátový součinitel  $\zeta$ .

Tento propočet má vztah[16]:

$$\zeta = 2 \cdot \left( \frac{0,009 \cdot \pi \cdot DN^2}{K_{vs}} \right)^2 \quad (10)$$

$$\zeta = 2 \cdot \left( \frac{0,009 \cdot \pi \cdot 50^2}{15} \right)^2 = 44 \quad (11)$$

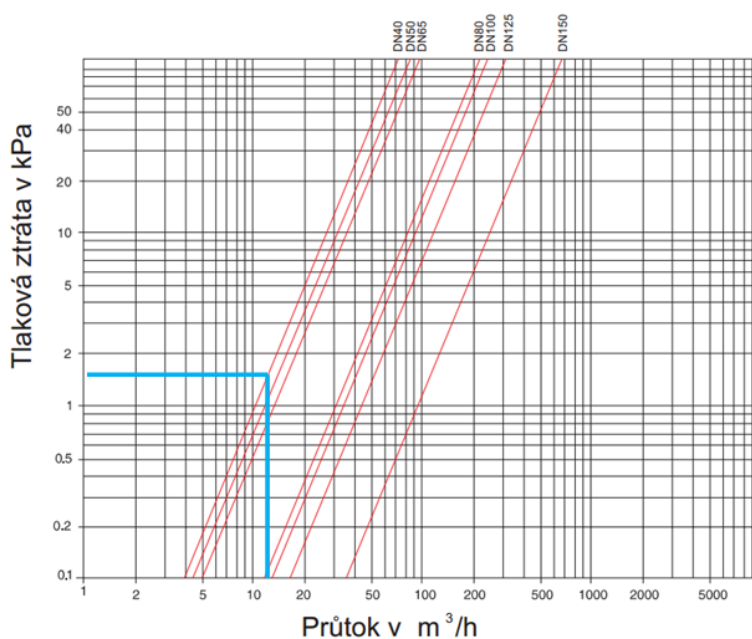
Parameters	
Resistance area:	0.00196 m <sup>2</sup>
Model parameterization:	By semi-empirical formulas
Pressure loss coefficient for direct flow:	44
Pressure loss coefficient for reverse flow:	44
Critical Reynolds number:	150

Obrázek 4-21 Specifikace místního odporu za redukční ventil [21]

Průtočná plocha (Resistance area) pro DN 50:

$$S_{DN50} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} = 0,00196 \text{ m}^2 \quad (12)$$

Další prvek, který jsem specifikoval jako místní odpor, byl **vodoměr Sensus Mei Stream DN 40**. U tohoto prvku jsem podle tlakové ztráty, rychlosti proudění a hustoty určil ztrátový součinitel  $\zeta$ [20]. Z grafu na obrázku je patrné, že tlaková ztráta, při průtoku  $3,25 \text{ l/s} = 0,00325 \text{ m}^3/\text{s} = 11,7 \text{ m}^3/\text{h}$  je  $1,5 \text{ kPa} = 0,015 \text{ bar}$



Obrázek 4-22 Určení tlakové ztráty na vodoměru [11]

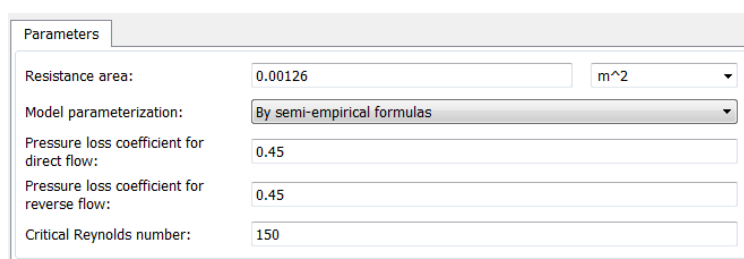
Určení ztrátového součinitele pro vodoměr [20] vychází ze vztahu 13. V tomto vzorci potřebujeme znát rychlost (15)  $v$ , kterou určíme z průměru (14) a průtoku. Pak vyjádříme ztrátový součinitel  $\zeta$  a dosadíme (16):

$$\frac{\Delta p}{\rho} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2} \quad (13)$$

$$S_{DN40} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,04^2}{4} = 0,00126 \text{ m}^2 \quad (14)$$


$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,00325}{0,00126} = 2,58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (15)$$

$$\zeta = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_{vody} \cdot v^2} = \frac{2 \cdot 1500}{1000 \cdot 2,58^2} = 0,45 \quad (16)$$



Obrázek 4-23 Nastavení místního odporu za vodoměr [21]

Další prvek, který jsem charakterizoval v Matlabu pomocí místních ztrát, byla **uzavírací klapka ISORIA 10 DN 50**. Uzavírací klapka měla uvedený ztrátový součinitel v katalogu, a proto jeho výpočet nebyl nutný. Pro DN 50 a plné otevření uzavírací klapky je jeho hodnota 0,56.



KSB

amfi

ISORIA 10

Hydraulické charakteristiky

		Průtokový součinitel v úplně otevřené poloze		
DN	NPS	Kvo	Cvo	Zeta
40	1 ½	53	62	1.46
50	2	133	154	0.56

Obrázek 4-24 Ztrátový součinitel uzavírací motýlové klapky [9]

Parameters		
Resistance area:	0.00196	m <sup>2</sup>
Model parameterization:	By semi-empirical formulas	
Pressure loss coefficient for direct flow:	0.56	
Pressure loss coefficient for reverse flow:	0.56	
Critical Reynolds number:	150	

Obrázek 4-25 Nastavení místního odporu za uzavírací klapku [21]

Jako poslední prvek místních ztrát jsem zohlednil nespecifikovatelné ztráty v obvodu. Tyto ztráty mohou vznikat například při spojení potrubí a konstrukce svařenců uvnitř myčky. Jsou tam zohledněny náhlé změny směru proudění při rozdělení proudu do tří řad trysek, změna tvaru vedení (z kruhovitého na čtvercovitý) a další neznáme faktory.

- **Hydraulické potrubí**



Hydraulické Potrubí

Obrázek 4-26 Symbol potrubí [17]

Výše jsem zmiňoval, že od redukčního ventilu k vodoměru vede potrubí o délce 2 metry a DN 50. Toto potrubí jsem v obvodu specifikoval jako klasické hydraulické potrubí. Matlab při výpočtu zohledňuje ztráty po délce potrubí.

Parameters		
Pipe cross section type:	Circular	
Pipe internal diameter:	0.05	m
Geometrical shape factor:	64	
Pipe length:	2	m
Aggregate equivalent length of local resistances:	1	m
Internal surface roughness height:	1.5e-5	m
Laminar flow upper margin:	2e+3	
Turbulent flow lower margin:	4e+3	
Pipe wall type:	Rigid	
Specific heat ratio:	1.4	
Initial pressure:	0	Pa

Obrázek 4-27 Specifikace hydraulického potrubí v programu Matlab Simulink [21]

V Matlabu jsem definoval kruhové potrubí (circular), průměr potrubí (pipe internal diameter), délku (pipe length), ekvivalentní délku (equivalent length of local resistance), drsnost potrubí (surface roughness height). Ekvivalentní délka nám udává délku potrubí, na které jsou tlakové ztráty třením v potrubí stejné jako místní ztráty v potrubí [23]. Geometrický faktor tvaru se používá pro počítání třecího součinitele při laminárním proudění. Jeho hodnota 64 je pro kruhový průřez potrubí [21].

- **Místní ztráta- koleno**



Obrázek 4-28 Koleno v programu Matlab [17]

Místní ztráta v podobě kolena se v obvodu objevuje dvakrát. Jedno koleno je před vodoměrem a druhé je při vstupu do myčky. V Matlabu se koleno definuje vnitřním průměrem, úhlem (elbow angle) a druhem zakřivení (elbow type). V mém případě se jedná o plynule zakřivené potrubí (smoothly curved elbow)

Parameters	
Elbow internal diameter:	0.05 m
Elbow angle:	90 deg
Elbow type:	Smoothly curved elbow
Critical Reynolds number:	80

Obrázek 4-29 Nastavení kolene v Matlabu [21]

- **Místní ztráta- zúžení a rozšíření**



Plynulá změna průřezu

Obrázek 4-30 Plynulá změna průřezu v programu Matlab [17]

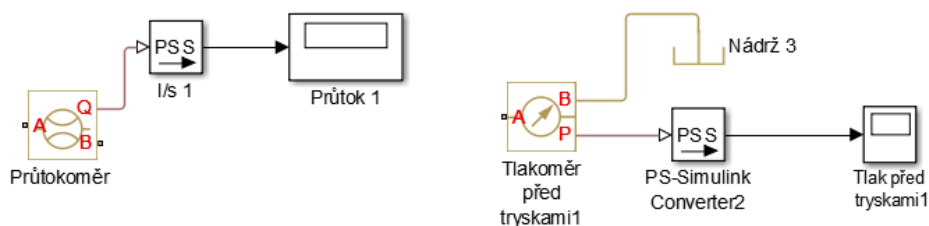
Zúžení a rozšíření definujeme v Matlabu jeho malým a velkým průměrem a také úhlem rozšíření (zúžení).

Parameters		
Small diameter:	0.04	m
Large diameter:	0.05	m
Cone angle:	45	deg
Model parameterization:	By semi-empirical formulas	
Correction coefficient:	1	
Critical Reynolds number:	350	

Obrázek 4-31 Nastavení plynulé změny průřezu v programu Matlab [21]

V mém případě je malý průměr DN 40, velký průměr DN 50 a úhel, při kterém tato změna nastane, je 45°.

- **Měřidla průtoku a tlaku**



Obrázek 4-32 Měření průtoku a tlaku v programu Matlab [17]

Pro měření průtoku se používá průtokoměr. Kapalina vstupuje do portu A a výstup je v portě B. Z portu Q vede fyzický signál, který přes PS-S převodník (Physical Signal-Simulink converter) zobrazí graf průtoku v závislosti na čase.

Tlakoměr měří rozdíl tlaků na vstupu (port A) a výstupu (port B- v mém případě atmosférický tlak, proto je zobrazen symbol otevřené nádrže). Pro zobrazení tlaku je rovněž potřeba převodník z fyzikálního signálu na signál Simulinku (PS-S converter), a na grafu pak můžeme sledovat změnu průtoku v čase. Tlak snímám ve dvou místech. První místo je zobrazení tlakoměru v reálné pozici na myčce (Tlak před tryskami), to znamená za vodoměrem. Druhé snímání tlaku je v místě, kde není možné reálně tlak změřit, ale je tam předpoklad vzniku největších rázů (Tlak v tryskách)



- **Segmentované potrubí**



Segmentované potrubí

Obrázek 4-33 Segmentované potrubí v programu Matlab [17]

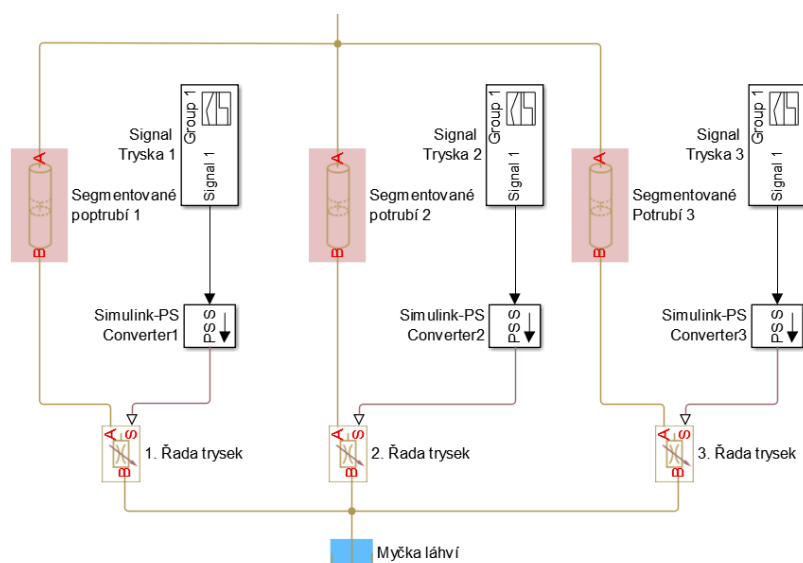
Segmentované potrubí se v Matlabu slouží stejně jako klasické potrubí pro vedení kapaliny. Rozdíl v segmentovaném potrubí představují jednotlivé, sériově zapojené segmenty, ze kterých se skládá toto potrubí. Každý segment tvoří odporová trubka, stlačitelnost kapaliny a blok setrvačnosti kapaliny. Podle toho, kolik takových segmentů si zvolíme, je výpočet přesnější.

Parameters		
Pipe internal diameter:	0.05	m
Pipe length:	3	m
Number of segments:	30	
Aggregate equivalent length of local resistances:	1	m
Internal surface roughness height:	1.5e-8	m
Laminar flow upper margin:	2e+3	
Turbulent flow lower margin:	4e+3	
Pipe wall type:	Rigid	
Specific heat ratio:	1.4	
Initial pressures at model nodes:	The same initial pressure for all nodes	
Initial pressure:	0	Pa
Initial flow rate:	0	m <sup>3</sup> /s

Obrázek 4-34 Nastavení segmentovaného potrubí [21]

V mém obvodu má potrubí vnitřní průměr DN 50, délku 3 metry (beru v potaz i potrubí uvnitř myčky). Počet segmentů volím 30.

- **Specifikace trysek**



Obrázek 4-35 Nahrazení trysek [21]

Před každou řadu trysek jsem vložil jedno krátké segmentované potrubí o délce 0,5 m. Toto potrubí nahrazuje svařenec, na kterém jsou trysky, a zpřesňuje výpočet, protože se jedná o segmentované potrubí. Každou řadu trysek jsem nahradil jedním prvkem s proměnným průtočným průřezem (Variable Orifice).

Parameters	
Model parameterization:	By maximum area and opening
Orifice maximum area:	0.0001963 m <sup>2</sup>
Orifice maximum opening:	1 m
Orifice orientation:	Opens in positive direction
Flow discharge coefficient:	0.45
Initial opening:	0 m
Critical Reynolds number:	12
Leakage area:	1e-12 m <sup>2</sup>

Obrázek 4-36 Nastavení trysek jako prvku s proměnným průřezem [21]

Při definování prvku s proměnným průtočným průřezem jsem zvolil parametrizaci podle maximální průtočné plochy a otevření, jelikož není možné zjistit podrobně

závislost průtoku, tlaku a průtočné plochy. Tato volba nám zajistí lineární závislost mezi otevřením a zavřením [21]. Dále potřebujeme znát průtočnou plochu tryskami. Pro výpočet průtočné plochy jednou řadou trysek potřebujeme znát průměr navrtané díry jedné trysky  $d$  a počet trysek na jednu řadu  $n_t$ . Postup je v rovnici 17.

$$d = 2,5 \text{ mm} = 0,0025 \text{ m}$$

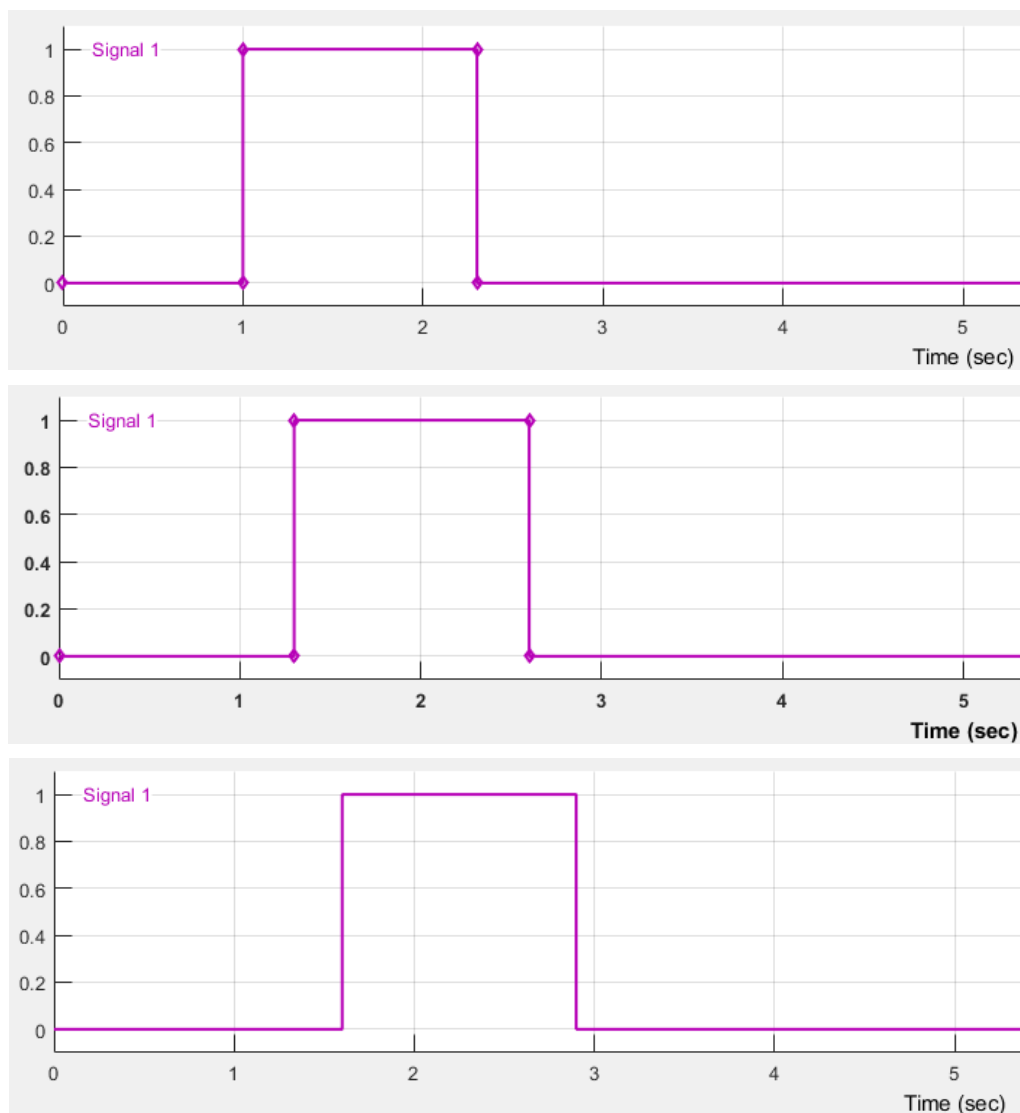
$$n_t = 40$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot n_t = \frac{\pi \cdot 0,0025^2}{4} \cdot 40 = 0,000196 \text{ m}^2 \quad (17)$$

Dalším důležitým parametrem při nastavování trysek je jejich výtokový součinitel  $\mu$  (Flow discharge coefficient). Po vyladění obvodu je jeho hodnota 0,45 a vychází ze vztahu 18 [23]. Velikost výtokového součinitele  $\mu$  přímo ovlivňuje průtok daným prvkem.

$$Q = \mu \cdot S_c \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (18)$$

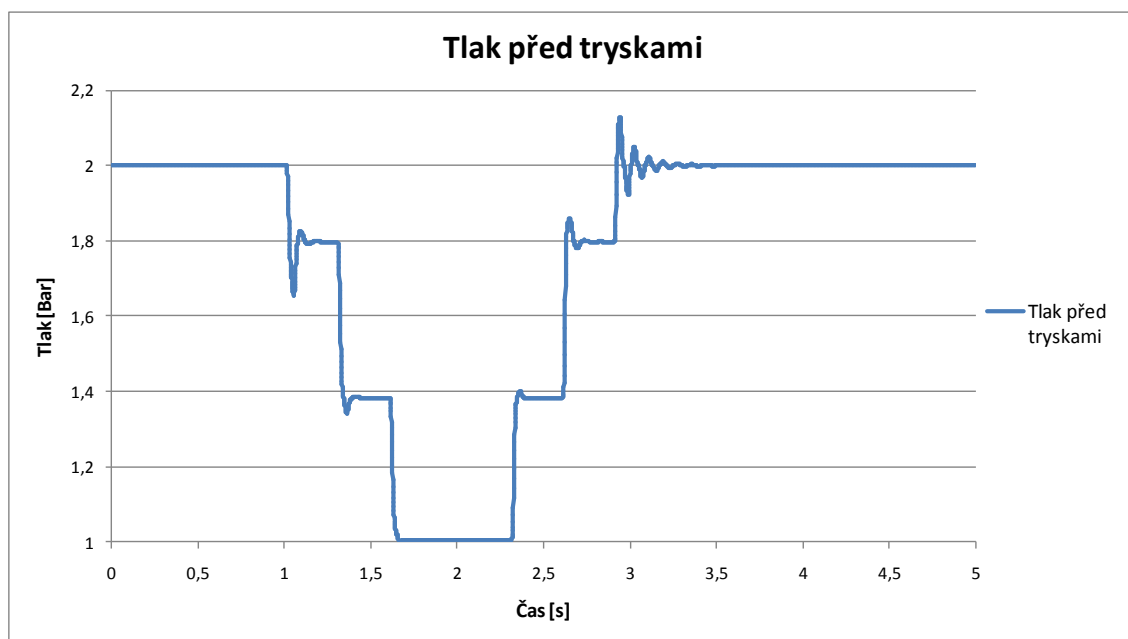
Pro ovládání trysek je použit generátor signálu (Signal builder) na kterém si nastavíme průběh ovládacího signálu v čase. Ve schématu je popsán jako Signál Tryska 1, 2 a 3. Analýza otáčení trysek je zde nezbytná (viz kapitola 4.3). Nastavení času otevření proto volím na 1,3 sekundy. Fázově bude každá řada trysek posunuta o 0,3 sekundy. Tato situace je idealizovaná, ale blíží se reálnému chování trysek. V simulaci je celkový čas cyklu všech tří trysek 1.9 sekundy. Při pozorování vodoměru jsem určil, že průtok se vždy cyklicky po 2 sekundách zastaví. To znamená, že se trysky uzavřely. V simulaci jsem uzavření každé trysky nastavil na skokovou změnu v čase 0,01 sekundy.



**Obrázek 4-37 Fázový posun jednotlivých generátorů signálu pro trysky [21]**

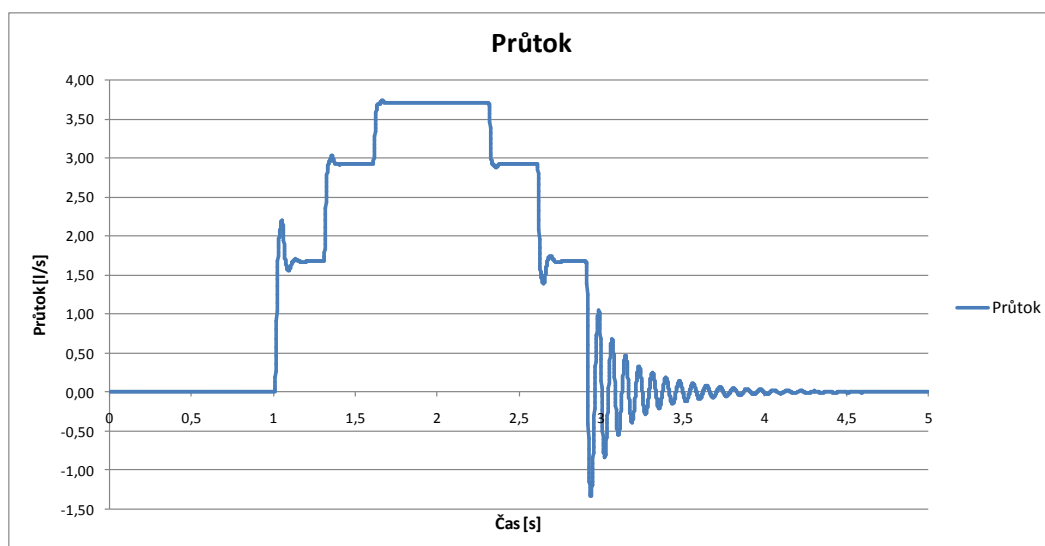
Při takovémto vyladěném obvodu v programu Matlab Simulink jsem dosáhl největší shody s reálnou situací odpozorovanou na myčce láhví. Zvolil jsem simulaci pouze jednoho cyklu otevření a uzavření. Cílem je zjistit nárůst tlaku při uzavření všech tří trysek a k tomu účelu je toto nastavení dostačující. Pro snadnou práci s daty a úpravu grafů jsem exportoval výsledky z Matlabu do Excelu.

Tlak před tryskami klesne při otevření všech trysek na hodnotu 1 baru, toto je patrné na grafu tlaku před tryskami (viz Obrázek 4-38).



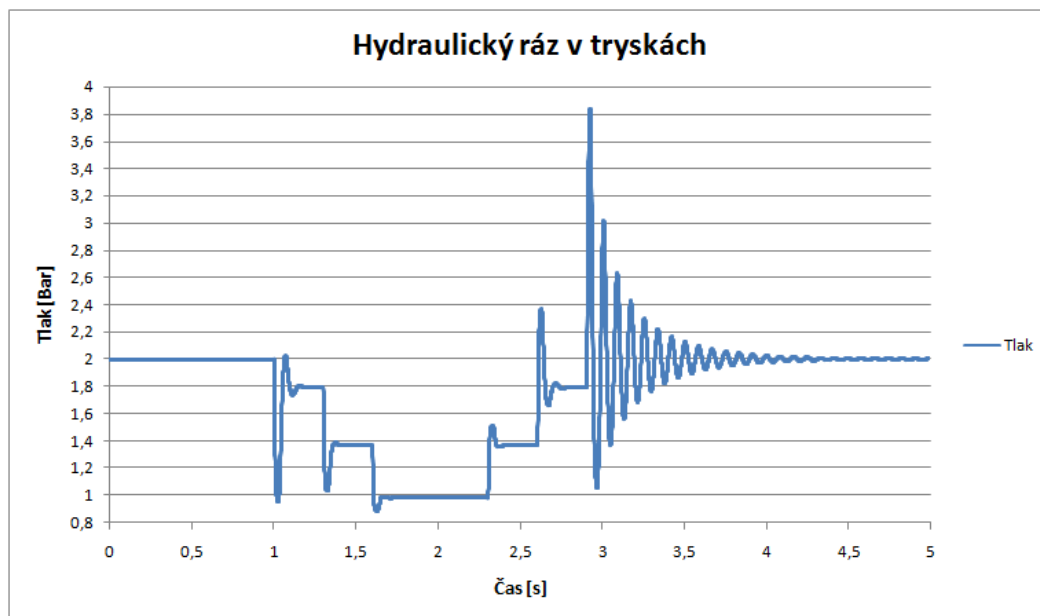
Obrázek 4-38 Simulace tlaku před tryskami [8]

Průtok v simulaci (viz Obrázek 4-39) se pohybuje, při otevření všech tří trysek, mírně nad změřenou průměrnou hodnotou 3,25 l/s. Maximální okamžitý průtok musí být větší než průměrná hodnota, proto maximální hodnotu v simulaci 3,73 l/s považují za reálnou.



Obrázek 4-39 Simulace průtoku v programu Matlab Simulink [8]

Ustálené stavy tlaku a průtoku v simulaci odpovídají situaci na myčce láhví. Můžeme předpokládat, že simulace tlaku v tryskách bude rovněž odpovídat reálné situaci. Níže (Obrázek 4-40) je zobrazen razantní nárůst tlaku při uzavření všech tří trysek.




Obrázek 4-40 Simulace hydraulického rázu v programu Matlab Simulink [8]

Jak je z grafu hydraulického rázu v tryskách zřejmé, hodnota tlaku dosáhne téměř 4 barů. To při cyklickém opakování (přibližně 25x za minutu při provozu na 3 směny) může mít nežádoucí účinky na svařenec, na kterém jsou trysky připevněny. Tlakové pulzace nemají dobrý vliv na hydraulický obvod, a proto byl vyměněn původní redukční ventil za nový typ Bernard 720 SE. Po namontování nového redukčního ventilu se tlak nastaví na 1 bar a tato hodnota bude konstantně hydraulicky regulována. Princip fungování nového redukčního ventilu je zobrazen v kapitole 4.5.1.1. Snížení tlaku na finálních tryskách a jeho regulace novým redukčním ventilem zabrání kolísání tlaku a redukuje hydraulický ráz.

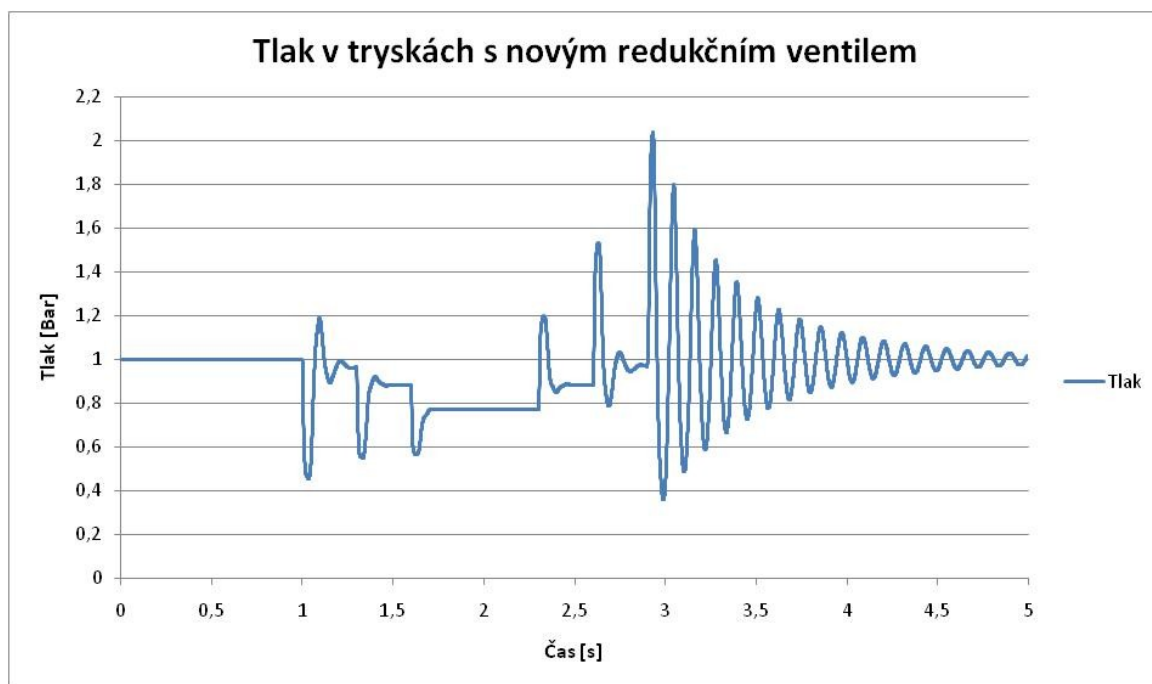
#### 4.6.2 Simulace s novým redukčním ventilem

Jelikož po namontování nového redukčního ventilu se sníží tlak vstupující do trysek na cca 1 bar a bude konstantně udržován, provedu simulaci tlaku v tryskách se sníženým tlakem a novým redukčním ventilem. Ztrátový součinitel ventilu Bernard 720 SE vypočítám znovu přepočtem z výtokového součinitele  $K_{vs}=57$  a průměr je DN 50.

700-ES Y-Pattern Flat Disc		mm	40	50
		inch	1.5"	2"
		Kv	54	57
		Cv	62	66

Obrázek 4-41 Výtokový součinitel nového redukčního ventilu [22]

$$\zeta = 2 \cdot \left( \frac{0,009 \cdot \pi \cdot DN^2}{K_{vs}} \right)^2 = 2 \cdot \left( \frac{0,009 \cdot \pi \cdot 50^2}{57} \right)^2 = 3,1 \quad (19)$$



Obrázek 4-42 Průběh tlaku v tryskách s novým ventilem [8]

Z grafu je patrné, že ráz v tryskách již nepředstavuje problém, jelikož tlak se zvětší pouze o 1 bar. Kvalita mytí je zachována a spotřeba vody snížena, což bude ověřeno odečtem spotřeby po správném seřízení hydraulického obvodu.

## 5 Přečerpávání vody na myčku beden

Myčka beden (přepravek) je další stroj, kde je nezanedbatelná spotřeba vody. Tento stroj je samostatný a jeho náklady na provoz se nepočítají do myčky láhví. Jelikož u beden není nárok na čistotu tak vysoký jak u láhví, není potřeba zde používat čistou vodu z řadu. Je navržen přečerpávací systém, který odpadní vodu z myčky láhví přečerpává na myčku beden. Odpadní voda z myčky láhví samovolně (přepadovým

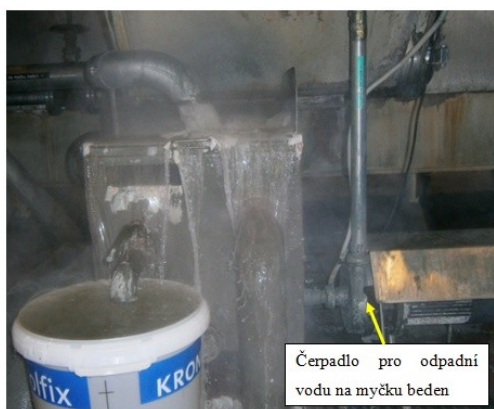
systemem, viz Obrázek 5-2) proudí do nádrže, kde je čerpadlo na přečerpání vody dále na myčku beden.



Obrázek 5-1 Přepad odpadní vody na nádrž pro přečerpání na myčku beden [8]

## 5.1 Současný stav

Přepad odpadní vody z myčky láhví do nádrže pro přečerpání na myčku beden je natolik velký, že značná část vody z nádrže přetéká do odpadu, i když čerpadlo pro přečerpání je v provozu (viz Obrázek 5-1). Typ čerpadla se nepodařilo identifikovat, ale je zřejmé, že již je silně opotřebované a nedosahuje požadovaných parametrů (Obrázek 5-5). Z tohoto důvodu je plánována jeho náhrada.

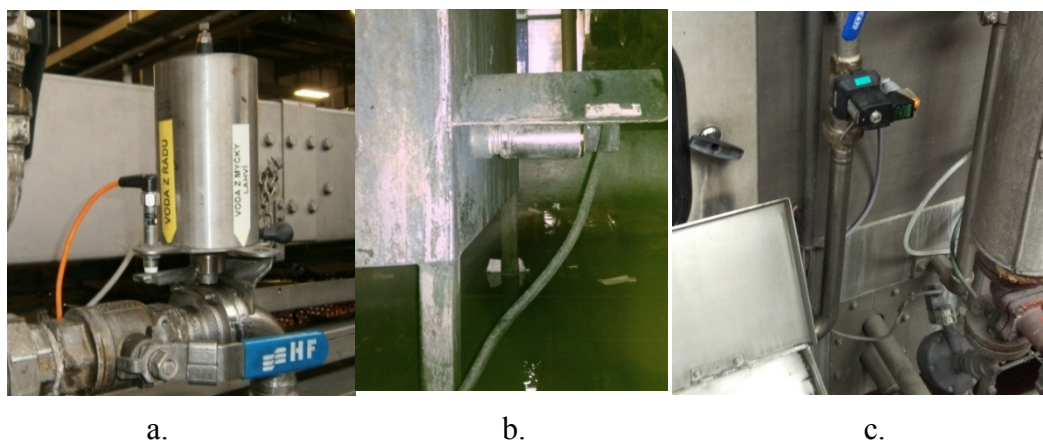


Obrázek 5-2 Přetékání odpadní vody z nádrže [8]

Na myčce beden jsou dva přívody vody, které jsou automaticky přepínány. Jedná se o přívod již zmíněné odpadní z vody z myčky láhví a přívod čisté řadové vody. Cílem je využít převážně odpadní vodu, a tak ušetřit odebírané množství z přívodu čisté řadové (pitné) vody. Ovládání přívodu vody do myčky beden zajišťuje motýlová klapka na přívodu řadové vody (viz Obrázek 5-3a.), ventil pro celkové uzavření přívodu vody do myčky beden (Obrázek 5-3c.) a dvě sondy pro snímání hladiny (Obrázek 5-3 b.; Obrázek 5-4).



Klapka pro ovládání přívodu řadové vody je ovládaná signálem ze sondy 1 v nádrži s odpadní vodou při myčce láhví (Obrázek 5-3 b.). Jestliže hladina v nádrži klesne pod sondu 1, ta pošle signál pro otevření klapky na přívodu řadové vody, aby byl zajištěn dostatečný přítok vody na myčku beden. Je-li sonda 1 zatopená, je přívod řadové vody do myčky beden uzavřen a probíhá pouze čerpání.



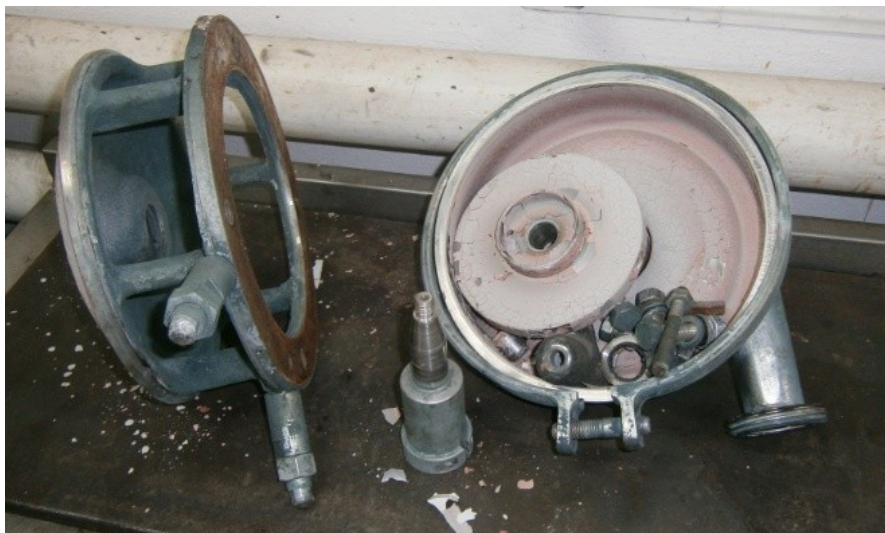
**Obrázek 5-3 a. Klapka pro uzavření přívodu řadové vody na myčku beden;  
b. Sonda 1 na nádrži odpadní vody na myčce láhví, ovládá klapku;  
c. Ventil před nádrží na myčce beden [8]**

Sonda 2 je ve výše položené nádrži na myčce beden (viz Obrázek 5-5). Tato sonda ovládá ventil (Obrázek 5-3 c), který kontroluje přísun řadové vody. Pokud je přečerpávána odpadní voda z myčky láhví, je ventil před nádrží na myčce beden neustále otevřený a přebytek vody vyteče přepadem do kanálu. Jestli voda v nádrži na myčce beden klesne pod sondu 2 (není dostatek vody v nádrži na myčce láhví), sonda 1 otevře klapku s přívodem řadové vody a nádrž se dopustí čistou vodou po hladinu sondy 2, která ventil opět uzavře, aby nedocházelo k vytékání přebytečné čisté vody do kanálu.



**Obrázek 5-4 Sonda 2 na nádrži na myčce beden [8]**

Jak jsem již zmínil, cílem je, aby myčka beden pracovala hlavně s vodou z myčky láhví. Tím se šetří řadová voda, kterou je potřeba navíc ohřát na pracovní teplotu 40°C. To představuje další ztráty na stáčírkách. Je důležité mít efektivní systém přečerpávání odpadní vody z myčky láhví na myčku beden. V následující kapitole jsem navrhnul dostatečně výkonné a moderní čerpadlo pro přečerpání vody na myčku beden. Stav rozebraného čerpadla, které nyní přečerpává vodu, zobrazuje Obrázek 5-5.



Obrázek 5-5 Současné čerpadlo pro přečerpání vody na myčku beden [8]

Toto čerpadlo nemá žádný štítek. Podle konstrukce se jedná o radiální odstředivé čerpadlo. Šlo pouze určit typ elektromotoru- ZSE MEZ Mohelnice 1AP100L-2. Výkon je 3 kW a je napájen střídavým proudem. Jmenovité otáčky motoru (tím i čerpadla)  $2280 \text{ min}^{-1}$ . Výměnou za modernější čerpadlo a elektromotor se může zvýšit účinnost přečerpávacího systému. Tím se z dlouhodobého hlediska ušetří náklady na přečerpávání vody a bude dosaženo požadovaných parametrů.

## 5.2 Návrh čerpadla

Konstrukce čerpadla bude stejná jako u současného, to znamená, že budu volit odstředivé radiální čerpadlo poháněné elektromotorem. Musím brát v potaz, že odpadní voda z myčky láhví může být mírně agresivní z důvodu přidaných chemikálií, hlavně louhu. Chemickou odolnost čerpadla pro přečerpání vody budu volit podle čerpadla na myčce beden.

Při charakterizování čerpacího systému je důležitým parametrem měrná energie. Často se definuje jako funkce objemového průtoku [24]

$$Y = f(Q_v) [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (20)$$

U čerpadla měrná energie určuje, kolik energie při daném průtoku předá čerpadlo kapalině. Obdobně určíme měrnou energii potrubí  $Y_p$ , která stanoví, kolik energie spotřebuje potrubí při daném průtoku [24]. Jestliže je měrná energie čerpadla i potrubí stejná, kapalina proudí ustálenou rychlostí.

Obecný vztah pro měrnou energii je:

$$Y = g \cdot h [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (21)$$

kde  $h$  je dopravní výška.

Potřebná energie pro dopravu kapaliny potrubím  $Y_p$  vychází z Bernoulliho rovnice [24] a má tvar:

$$Y_p = \frac{p_{vn} - p_{sn}}{\rho} + g \cdot (h_s + h_v) + g \cdot (h_{zs} + h_{zv}) [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (22)$$

kde  $p_{vn}$  je tlak ve výtlačné nádrži,  $p_{vs}$  je tlak v sací nádrži,  $h_s$  je sací výška,  $h_v$  výtlačná výška,  $h_{zs}$  je ztrátová sací výška,  $h_{zv}$  je ztrátová výtlačná výška,  $\rho$  hustota a  $g$  je tíhové zrychlení.

První dva členy rovnice 22 nejsou závislé na průtoku a nazývají se statickou složkou měrné energie. Člen se ztrátovými výškami již na průtoku závislý je a představuje ztrátovou energii spotřebovanou při proudění skutečné kapaliny v potrubí. Jsou v něm započítány třecí i místní ztráty vedení. Jedná se o dynamický člen. [24]

Výpočet ztrátové výšky [24] (třecí ztráty v potrubí) se určí podle vztahu:

$$h_z = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} [\text{m}] \quad (23)$$

kde  $\lambda$  je součinitel tření závislý typu proudění (laminární nebo turbulentní),  $l$  je délka potrubí,  $d$  je průměr potrubí a  $v$  rychlost proudění. Po dosazení do obecné rovnice (21) určíme měrnou ztrátovou energii z důvodu tření v potrubí.

$$Y_z = h_z \cdot g = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2} [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (24)$$

Při určování ztrátového součinitele  $\lambda$  musíme znát charakter proudění. Zda se jedná o laminární nebo turbulentní proudění zjistíme pomocí Reynoldsova čísla. Kritické Reynoldsovo číslo, které se obecně uvažuje jako přechodová hranice mezi laminárním a turbulentním prouděním, je hodnota 2320.

Reynoldsovo číslo se určí podle vztahu:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} [-] \quad (25)$$

kde  $v$  je rychlost proudění,  $d$  je průměr potrubí a  $\nu$  je kinematická viskozita.

### 5.2.1 Analýza čerpacího systému

Jako nominální průtok čerpadla volíme objemový průtok, který do myčky proudí finálními tryskami, takže  $3,25 \text{ l.s}^{-1} = 0,00325 \text{ l.s}^{-1}$ . Z průtoku a průměru potrubí vypočítáme rychlost proudění  $v$ . Příklad výpočtu je zobrazen v rovnicích 25 až 27. Délka potrubí od myčky láhvi do nádrže na myčce beden je 57 metrů. Průměr potrubí je DN 32 (2 m potrubí od čerpadla do rozšíření) a DN 40 (55 m k myčce beden).

Popis potrubí	D	S	l	v
	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m.s <sup>-1</sup> ]
Potrubí od rozšíření k myčce beden	0,040	0,001257	55	2,59
Potrubí od čerpadla na myčce láhvi k rozšíření	0,032	0,000804	2	4,04

Tabulka 5-1 Potrubí pro přečerpání odpadní vody na myčku beden [8]

$$v = \frac{Q}{S} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (26)$$

$$S_{DN40} = \frac{\pi \cdot d_{DN40}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0.04^2}{4} = 0,001257 \text{ m}^2 \quad (27)$$

$$v = \frac{0,00325}{0,001257} = 2,59 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (28)$$

Obě nádrže jsou otevřené, takže budeme počítat s atmosférickým tlakem na sací i na výtlačné větvi čerpadla. Proto první člen z rovnice 22 nebereme v potaz (rozdíl tlaků je 0). Hladina sací nádrže je ve výšce 65 cm a na výtlačné nádrži je ústí potrubí ve výšce 135 cm. Rozdíl těchto výšek nám určí statickou složku energie.

$$Y_{st} = g \cdot h = 9,81 \cdot 0,7 = 6,87 [J \cdot kg^{-1}] \quad (29)$$

Poslední složkou celkové měrné energie je ztrátová měrná energie  $Y_z$  (rovnice 24). Čerpadlo se nachází u nádrže při myčce beden (sací nádrž), z toho důvodu třecí ztráty v sacím potrubí nebudeme uvažovat. Výškově je uloženo pod hladinou v sací nádrži.

Po dosazení maximálních rychlostí je Reynoldsovo číslo nad kritickou hodnotou 2320. Jedná se tedy o turbulentní proudění. To zjištění budeme aplikovat při výpočtu ztrátového součinitele  $\lambda$ . Vztah pro výpočet ztrátového součinitele při turbulentním proudění podle Blasia [24] má tvar:

$$\lambda_{Blas} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (30)$$

Tento vztah je pro kruhový průřez potrubí. Při výpočtu ztrátového součinitele  $\lambda$  podle Blasia není ve vzorci zahrnuta drsnost potrubí a pohybujeme se nad oblastí hydraulicky hladkého potrubí. V tabulce je proto uveden výpočet ztrátového součinitele  $\lambda$  s drsností  $k$ . Použiju vztah podle Altšula [26], který je vhodný pro výpočet s Reynoldsovým číslem od  $4 \cdot 10^3$  a je uveden v rovnici 31 [26].

$$\lambda_{Alt} = 0,11 \left( \frac{k}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} \quad (31)$$

Tento vzorec je v praxi využíván pro jeho jednoduchost. Drsnost  $k$  jsem zvolil 0,25 mm. Potrubí pro přečerpání odpadní vody je ocelové a předpokládám, že je mírně zaneseno. Příklad výpočtu pro potrubí DN 32 je uveden v rovnici 32.

$$\lambda_{Alt} = 0,11 \left( \frac{0,25}{32} + \frac{68}{12800} \right)^{0.25} = 0,0372 \quad (32)$$

Z výše opsaných hodnot již je možné vytvořit charakteristiku potrubí. Tabulka 5-2 je pro krátké potrubí od čerpadla s průměrem DN 32. Tabulka 5-3 je pro dlouhé potrubí s průměrem DN 40.

Potrubí DN 32 - Dynamická složka energie							
	$v$	Re	$\lambda_{\text{Blas}}$	$\lambda_{\text{Alt}}$	Q	$Y_{\text{zv2}}$	$H_{\text{zv2}}$
	$[\text{m.s}^{-1}]$	$[-]$	$[-]$	$[-]$	$[\text{l.s}^{-1}]$	$[\text{J.kg}^{-1}]$	$[\text{m}]$
0	0	0	-	-	0	-	0
1	0,4	12800	0,0297	0,0372	0,32	0,19	0,02
2	0,80	25731	0,0250	0,0352	0,65	0,71	0,07
3	1,21	38663	0,0226	0,0344	0,97	1,57	0,16
4	1,61	51594	0,0210	0,0340	1,30	2,76	0,28
5	2,02	64525	0,0199	0,0338	1,62	4,29	0,44
6	2,42	77457	0,0190	0,0336	1,95	6,15	0,63
7	2,82	90388	0,0182	0,0335	2,27	8,34	0,85
8	3,23	103319	0,0176	0,0334	2,60	10,87	1,11
9	3,63	116251	0,0171	0,0333	2,92	13,73	1,40
10	4,04	129313	0,0167	0,0332	3,25	16,96	1,73

Tabulka 5-2 Charakteristika výtlačného potrubí DN 32 od čerpadla k rozšíření na DN40 [8]

Potrubí DN 40 - Dynamická složka energie							
	$v$	Re	$\lambda_{\text{Blas}}$	$\lambda_{\text{Alt}}$	Q	$Y_{\text{zv1}}$	$H_{\text{zv1}}$
	$[\text{m.s}^{-1}]$	$[-]$	$[-]$	$[-]$	$[\text{l.s}^{-1}]$	$[\text{J.kg}^{-1}]$	$[\text{m}]$
0	0	0	-	-	0	-	0
1	0,26	10400	0,0313	0,0370	0,33	1,72	0,18
2	0,52	20745	0,0264	0,0344	0,65	6,36	0,65
3	0,78	31090	0,0238	0,0333	0,98	13,85	1,41
4	1,04	41435	0,0222	0,0328	1,30	24,19	2,47
5	1,29	51780	0,0210	0,0324	1,63	37,37	3,81
6	1,55	62125	0,0200	0,0322	1,95	53,40	5,44
7	1,81	72470	0,0193	0,0320	2,28	72,28	7,37
8	2,07	82815	0,0187	0,0319	2,60	94,00	9,58
9	2,33	93161	0,0181	0,0318	2,93	118,57	12,09
10	2,59	103451	0,0176	0,0317	3,25	145,83	14,87

Tabulka 5-3 Charakteristika výtlačného potrubí DN 40 do myčky beden [8]

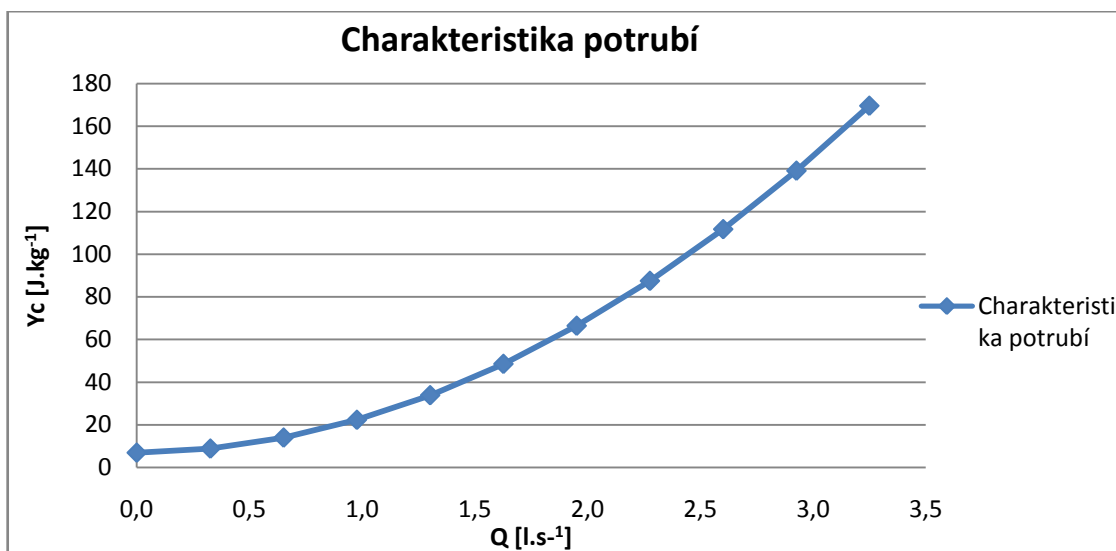
Celková potřebná měrná energie je součtem všech měrných energií. Statické a dynamické (ztrátové).

$$Y_c = Y_{st} + Y_{zv1} + Y_{zv2} = 6,87 + 145,83 + 16,96 = 169,66 \text{ [J.kg}^{-1}\text{]} \quad (33)$$

Ze závislosti celkové měrné energie na průtoku vytvoříme graf charakteristiky potrubí.

Q	Y <sub>c</sub>
[l.s <sup>-1</sup> ]	[J.kg <sup>-1</sup> ]
0	6,87
0,32	8,77
0,65	13,93
0,97	22,28
1,30	33,82
1,62	48,53
1,95	66,42
2,27	87,49
2,60	111,74
2,92	139,17
3,25	169,66

Tabulka 5-4 Závislost celkové měrné energie na průtoku [8]



5-6 Graf charakteristiky potrubí [8]

Z grafu je patrná měrná energie potřebná pro čerpání kapaliny při daném průtoku. Pro průtok 3,25 l.s<sup>-1</sup> je celková měrná energie 169,66 J.kg<sup>-1</sup>

Dopravní výška čerpadla se odvodí ze vztahu:

$$Y = g \cdot H \text{ [J.kg}^{-1}\text{]} \rightarrow H = \frac{Y_c}{g} = \frac{169,66}{9,81} = 17,29 \text{ m} \quad (34)$$

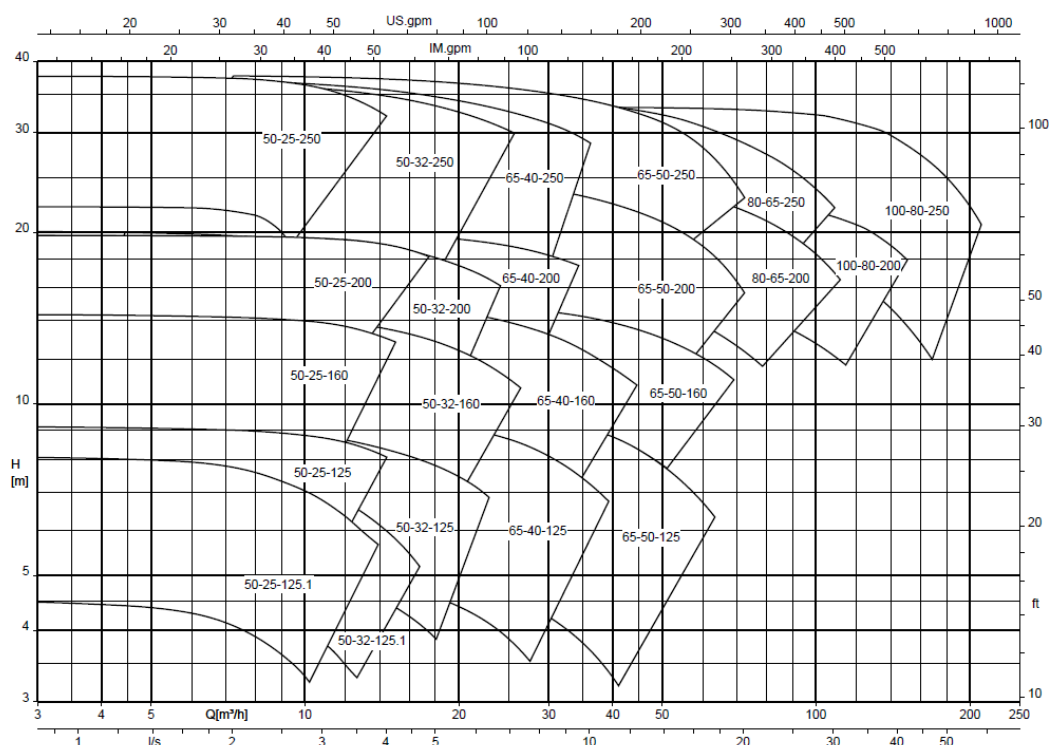
Dopravní výšku zaokrouhlím na 18 m z důvodu pokrytí místních ztrát a průtok je  $3,25 \text{ l.s}^{-1} = 11,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Výše jsem zmínil, že budu volit čerpadlo s podobnou chemickou odolností jako je čerpadlo na myčce beden. Rovněž beru v potaz to, od jaké společnosti je většina čerpadel na myčce láhví. Toto zaručí, že bude jednodušší objednání náhradních dílů a pozdější údržba.

Na myčce láhví i beden jsou použity čerpadla firmy KSB. Proto rovněž pro přečerpání odpadní vody na myčku beden volím čerpadla této firmy. Z katalogu jsem zvolil sérii KSB Etachrom B. Jedná se o monoblokové čerpadlo pro čerpání čistých nebo agresivních kapalin. Je odolné vůči korozi, jelikož všechny komponenty přicházející do styku s čerpaným médiem, jsou z nerezové oceli [25]. Splňuje proto požadavek chemické odolnosti pro mírně agresivní vodu.

Typ čerpadla určím podle výkonových křivek (Obrázek 5-7):

Etachrom B,  $n = 1750 \text{ min}^{-1}$



Obrázek 5-7 Výkonové křivky čerpadla Etachrom B při  $1750 \text{ min}^{-1}$  [25]



Pro průtok kolem  $11,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  a dopravní výšku 18 m je nejvhodnější typ 50-25-200 s  $1750 \text{ min}^{-1}$  otáčkami. Přesné parametry se dosáhnou stočením oběžného kola čerpadla.



Obrázek 5-8 Nové čerpadlo KSB Etachrom B pro přečerpání odpadní vody z myčky láhví na myčku beden [25]

Počet	Prvek	Typ	Umístění
1	Čerpadlo	KSB Etachrom B 50-25-200, $1750 \text{ min}^{-1}$	Nádrž odpadní vody na myčce láhví

#### 5-5 Specifikace prvku [8]

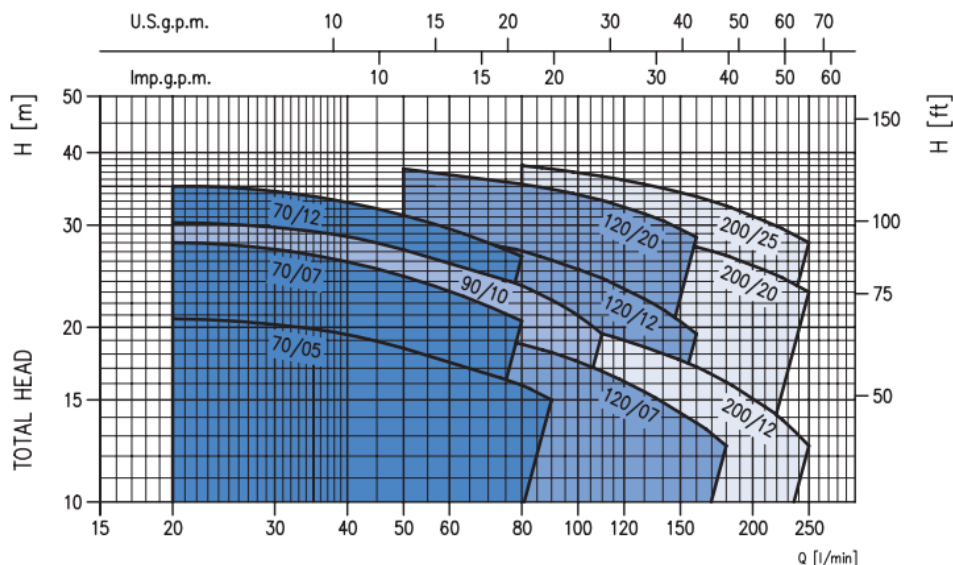
Doporučuji pořídit dva čerpadla. Toto opatření zajistí okamžitou výměnu čerpadla při poruše a není potřeba čekat na dodání náhradních dílů. Dokumentace čerpadla se nachází v příloze.

Jako alternativu je možno zvolit čerpadlo společnosti Ebara. Výrobce rovněž uvádí, že je pro čerpání vody i mírně agresivních kapalin a je taky vyrobeno z nerezové oceli [27].



Obrázek 5-9 Alternativní čerpadlo Ebara CD

Typ čerpadla zvolím z výkonových křivek (viz Obrázek 5-10).



Obrázek 5-10 Výkonové křivky čerpadla Ebara CD [27]

Pro průtok  $3,25 \text{ l/s} = 195 \text{ l/min}$  a dopravní výšku  $18 \text{ m}$  je vhodný typ Ebara CD 200/20. Toto čerpadlo bude taky splňovat všechny požadavky pro přečerpání vody.

## 6 Závěr

V dnešní době jsou kladeny velké nároky na ekologii. Spotřeba pitné vody je tedy jedním z aktuálních témat současnosti. Veškeré firmy, které potřebují při výrobním procesu pitnou vodu, se snaží její spotřebu minimalizovat. Na stáčecí lince v pivovaru Radegast je spotřeba pitné vody průběžně monitorována. Jedním ze strojů stáčecí linky, který spotřebuje velké množství pitné vody, je právě myčka láhví. Cílem této diplomové práce bylo zvážit možnosti snížení spotřeby pitné řadové posouzením funkce jednotlivých prvků na hydraulickém obvodu myčky láhví.

Nejdříve jsem se na základě dostupné dokumentace a vlastním zkoumáním myčky instalované v pivovaru důkladně seznámil s celým mycím procesem. Na toto téma jsem detailně zpracoval teoretickou část diplomové práce. V dalším kroku jsem se soustředil na spotřebu pitné vody v myčce a analyzoval jsem hydraulický obvod pro řadovou vodu. Součástí analýzy byla katalogová specifikace a fotodokumentace všech prvků na obvodu. Tato část diplomové práce byla velmi náročná, jelikož nebyl dostupný seznam použitých prvků. Aby bylo možné zjistit, kolik řadové vody se na myčce spotřebuje, byly vodoměry připojeny do počítačového systému pro snímání dat. Tím jsem ověřil předpoklad, že spotřeba veškeré řadové vody je určena na finální oplach.

Po důkladném seznámení se s obvodem jsem v pivovaru konzultoval získaná data a informace. První nedostatek, na který jsem upozornil, souvisel s tlakem v přívodu pitné vody. V pivovaru předpokládali, že řadová voda vstupuje do myčky s tlakem 4 bary, ale ve skutečnosti byl vstupní tlak 7 barů. To mohlo být způsobeno špatným seřízením redukčního ventilu po odstávce nebo poruše. Po redukování tlaku na hlavním redukčním ventilu se spotřeba vody prokazatelně zmenšila.

Následujícím krokem bylo simulování hydraulického obvodu při uzavření trysek. Do programu Matlab jsem zadal všechny prvky podle katalogových a vypočtených hodnot. Po vyladění obvodu jsem zjistil, že při stávající konfiguraci prvků vzniká v tryskách nárůst tlaku ze 2 barů na 4 bary. Tento jev se opakuje cca 25x za minutu při uzavírání a otevírání trysek. Pro eliminaci těchto tlakových pulzací jsem navrhl nový redukční ventil, který zaručí konstantní tlak na výstupu. Tento ventil byl zakoupen a instalován. Po namontování se snížil tlak vstupující do trysek z 2 barů na 1 bar. Nově osazený redukční ventil proto redukoval jak tlakové pulzace, tak přispěl i ke snížení spotřeby vody.

V posledním kroku jsem navrhnul čerpadlo pro přečerpání odpadní vody z myčky láhví na myčku beden jako náhradu opotřebovaného čerpadla, které již nezajišťovalo požadované parametry. Nové čerpadlo s větší účinností zaručí dlouhodobě ekonomičtější provoz a sníží spotřebu pitné řadové vody na myčce beden.

## 7 Použité literární zdroje

1. *Returnable Glass Bottle Washing*. 5. vydání. 2015. SAB Miller Package (interní dokumentace k mycí lince)
2. *Krones Lavatec D4/D5* [online]. 2013, [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: [https://www.krones.com/downloads/lavatec\\_d4\\_d5\\_en.pdf](https://www.krones.com/downloads/lavatec_d4_d5_en.pdf)
3. Hydroxid sodný. *LEARKA a.s.* [online]. Ostrava, 2015 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.learka.cz/chlor/hydroxid.htm>
4. Single-end washer for the low and medium output range. In: *Krones* [online]. 2011 [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: [https://www.krones.com/downloads/lavatec\\_e2\\_en.pdf](https://www.krones.com/downloads/lavatec_e2_en.pdf)
5. ZAORAL, Zdeněk. *Al, Ge, Sn a Pb ve výuce chemie na vysoké, střední a základní škole*. Brno, 2009. Bakalářská práce. MASARYKOVA UNIVERZITA. Vedoucí práce Doc. RNDr. Luďek Jančář, CSc.
6. KULVEITOVÁ, Hana. *Chemie II: (chemie prvků)*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1322-6
7. Products for washing machines and rinsers. *Welcome to tyrolon*. [online]. [cit. 2017-03-12] Dostupné z: <http://www.tyrolon.cc/en/products-for-washing-machines-and-rinsers.html>
8. Vlastní informace a pořízené fotografie
9. *WP-Dynamic 50: Data Sheet* [online]. 1. Sensus Metering Systems, 2009 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <https://sensus.webdamdb.com/bp/#/search?q=%22WP-Dynamic%2050%20C%20Water%20Meter%22&filters=%257B%257D#37022068>
10. Shop KSB: *Katalogový list Isoria 10/16* [online]. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: [https://shop.ksb.com/ims\\_docs/3B/3BCA551E1EAC2194E1000000C3D94CBB.pdf](https://shop.ksb.com/ims_docs/3B/3BCA551E1EAC2194E1000000C3D94CBB.pdf)
11. *Sensus Meistream Water Meter: Data Sheet* [online]. Sensus Metering System, 2016 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <https://sensus.webdamdb.com/bp/#/search?q=%22MeiStream%20Water%20Meter%22&filters=%257B%257D#37051758>
12. Burkert. *Elektromagnetické ventily vodní: 6213* [online]. 2016 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <https://www.burkert.cz/cz/Media/plm/DTS/DS/DS6213-EVStandard-EU-EN.pdf?id=DTS00000000000000001000115690ENN>
13. Elster. *Metering Solutions: M100/M110* [online]. ELSTER Messtechnik [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: [https://www.elstermetering.com/assets/products/products\\_elster\\_files/M100\\_D\\_0101e\\_1012.pdf](https://www.elstermetering.com/assets/products/products_elster_files/M100_D_0101e_1012.pdf)
14. Interní informace a data pivovaru Radegast
15. Pressure reducing valves: Series 681. *Goetze KG Armaturen* [online]. Ludwigsburg, 2016 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.goetze-armaturen.com/en/products/industrial/pressure-reducing-valves/series-681/>
16. DOUBRAVA, Jiří a kol. *Regulační armatury*. 4. upravené a doplněné vydání. Česká Třebová: LDM, spol. s r.o., 2006.

17. Matlab R2016a, *Simulink library browser*
18. *Engineers Edge - Reference Data for Engineers* [online]. Copyright © [cit. 27.04.2017]. Dostupné z: <http://www.engineersedge.com/imagefiles/water-viscosity.pdf>
19. DVOŘÁK, Lukáš. *Vlastnosti Tekutin* [online]. 1. Ostrava: Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2010 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/wp-content/uploads/2016/03/Dvorak-vlastnosti-tekutin.pdf>
20. DRÁBKOVÁ, Sylva. *Mechanika tekutin* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008 [cit. 2017-04-27]. ISBN 978-80-248-1508-4.
21. Prostředí a nápověda v programu Matlab Simulink. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/simulink/>
22. Bermard Waterworks. *Pressure Reducing Valve: Model 720, Water Mark* [online]. © Copyright 2017 Bermad Water Technologies, 2017 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.bermad.com.au/products/720-pressure-reducing-valve/>
23. DRÁBKOVÁ, Sylva. *Mechanika tekutin* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008 [cit. 2017-04-27]. ISBN 978-80-248-1508-4.
24. BLEJCHAŘ, Tomáš, DRÁBKOVÁ, Sylva. *Čerpací technika a potrubí: návody do cvičení*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2010. ISBN 978-80-248-2205-1.
25. Web Shop. *KSB: Typový list Etachrom B* [online]. Frankenthal, 2017 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: [https://shop.ksb.com/ims\\_docs/00/00215A9B03CC1ED78AD76C477DAF3B2B.pdf](https://shop.ksb.com/ims_docs/00/00215A9B03CC1ED78AD76C477DAF3B2B.pdf)
26. KUDELA, Henryk. *Hydraulic losses in pipes*. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: [http://fluid.itcmp.pwr.wroc.pl/~znmp/dydaktyka/fundam\\_FM/Lecture11\\_12.pdf](http://fluid.itcmp.pwr.wroc.pl/~znmp/dydaktyka/fundam_FM/Lecture11_12.pdf)
27. Pumpa a.s.: *Čerpadla Ebara* [online]. 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.pumpa.cz/cz/odstrediva-čerpadla-s-jednim-obeznym-kolem-nerezova-aisi-304>

## 8 Seznam příloh

1. Technický list navrženého redukčního ventilu Bermard 720
2. Technický list navrženého čerpadla KSB Etachrom B
3. Technický list alternativního čerpadla Ebara CD
4. Schéma obvodu v programu Matlab Simulink